



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCATRONICA

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

CONTROLLO DEL SISTEMA DI
MOVIMENTAZIONE DEL BERSAGLIO DI
PRODUZIONE DELL'ACCELERATORE SPES

Relatore: Ch.mo Prof. ROBERTO OBOE

Correlatori: Dott. ALBERTO ANDRIGHETTO
Ing. ALDO MOZZI

Laureando: FABIO BORDIGNON

Matricola 1058765

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

Introduzione

Presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è in fase di realizzazione un nuovo progetto denominato SPES (Selective Production of Exotic Species). Lo scopo del progetto SPES è la produzione di fasci di ioni radioattivi, mediante la tecnica ISOL, utili alla ricerca in molti campi, tra i quali ci sono fisica nucleare, medicina, astrofica.

È in costruzione l'infrastruttura del progetto, all'interno della quale sarà utilizzato un ciclotrone per accelerare un fascio di protoni. Il fascio sarà direzionato verso un bersaglio (target) composto da dischi di carburo di uranio; la collisione dei protoni accelerati con il bersaglio provocherà l'emissione di atomi radioattivi che saranno poi ionizzati e a loro volta accelerati in modo da generare un fascio di ioni esotici. Il fascio radioattivo potrà poi essere indirizzato verso diversi laboratori per vari tipi di ricerca.

Il bersaglio è contenuto in un dispositivo chiamato camera target che durante il funzionamento dell'impianto sarà inserito nell'apparecchiatura utilizzata per la produzione del fascio radioattivo, denominata front end. La camera target contenente il bersaglio dovrà essere sostituita periodicamente; le camere target usate saranno stoccate in un deposito temporaneo all'interno dell'infrastruttura. La camera target è radioattiva quindi non potrà essere movimentata da un essere umano, per questo motivo sono in fase di sviluppo dei sistemi di movimentazione automatici.

La camera target sarà movimentata principalmente per mezzo di tre sistemi. Il primo è incorporato nel front end e procede all'accoppiamento e al disaccoppiamento della camera target dallo stesso. Il secondo, detto macchina orizzontale, è un veicolo elettrico automatico, dotato di un sistema che permette di prelevare la camera target dal front end e inserirla in un sarcofago di piombo, allo scopo di schermarne le emissioni radioattive. Fatto ciò la macchina orizzontale trasporta il sarcofago contenente la camera target presso il deposito temporaneo. Allo stesso modo questa macchina permette di trasportare il sarcofago contenente la nuova camera target presso il front end e posizionarla su di esso. Una volta portato il sarcofago contenente la camera target usata al deposito temporaneo, il terzo sistema di movimentazione preleva il tutto dalla macchina orizzontale e procede allo stoccaggio.

Scopo del lavoro trattato in questa tesi è la messa in servizio del sistema di movimentazione di camera target e sarcofago che sarà montato sul veicolo elettrico automatico e che insieme ad esso costituisce la macchina orizzontale. Questo sistema, denominato cartesiano, è dotato di motori elettrici, alimentati da azionamenti, per attuare i movimenti necessari alle sue operazioni, e di un sistema di presa attuato dall'aria compressa, per mezzo di elettrovalvole; esso è dotato anche di un certo numero di sensori. Il tutto è connesso ad un PLC che controlla l'intero sistema.

Durante il lavoro di tesi il sistema è stato messo in funzione configurandolo come necessario dal punto di vista hardware, per poter poi procedere alla programmazione del software del PLC per il controllo, principale attività nell'ambito del lavoro svolto. Il PLC, una volta programmato, controlla il sistema e consente il suo utilizzo permettendo di usufruire di tutte le sue funzionalità, oltre a regolare l'esecuzione delle operazioni automatiche per il prelievo e il deposito della camera target, per effettuare le quali il sistema è stato costruito.

Sono state sviluppate due interfacce di controllo per permettere ad un operatore di interagire con il PLC in modo da poter controllare il cartesiano. Una è l'interfaccia SCADA, che sarà utilizzata quando il progetto sarà operativo, essa è eseguita su un computer e permette di controllare il cartesiano connettendosi da remoto e di memorizzare i dati

provenienti da esso. L'altra, HMI, è utilizzata per controllare il sistema nella fase di test rimanendo nelle immediate vicinanze ed è implementata mediante un pannello touchscreen.

Il primo capitolo della tesi offre una panoramica sul progetto SPES illustrando il suo funzionamento in generale, le sue applicazioni e i sistemi di movimentazione per esso progettati.

Nel secondo capitolo è descritto il sistema cartesiano dal punto di vista meccanico e dei componenti elettrici ed elettronici utilizzati per il suo funzionamento e per il controllo; viene illustrato il funzionamento delle diverse apparecchiature necessarie per lo svolgimento delle sue operazioni e le connessioni tra esse.

Nel terzo capitolo viene descritto il programma realizzato e implementato nel PLC illustrando il comportamento del sistema in relazione al suo stato, agli input che riceve e ai comandi dell'operatore; il codice scritto è riportato in appendice.

Nel quarto capitolo vengono illustrate le interfacce SCADA e HMI realizzate per il controllo del cartesiano.

Nel quinto capitolo è riportato un documento redatto al fine di indicare il corretto utilizzo del sistema in condizioni di sicurezza.

Il sesto capitolo contiene dati e considerazioni ricavati dalle prove sperimentali eseguite per testare il funzionamento del sistema.

Indice

Introduzione	iii
Indice	v
1 Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN	1
1.1 Introduzione	1
1.2 Il progetto SPES	3
1.2.1 Facility ISOL	4
1.2.2 Layout del progetto	6
1.2.3 L'acceleratore primario	6
1.2.4 Il target di produzione ed il sistema di estrazione e ionizzazione	8
1.2.5 Il separatore elettromagnetico e la post accelerazione	14
1.3 L'infrastruttura del progetto SPES	15
1.3.1 La zona di produzione degli ioni esotici	15
1.3.2 Il front end	18
1.3.3 La camera target	20
1.3.4 Il sarcofago	23
1.3.5 Il deposito temporaneo	25
1.4 I sistemi di movimentazione	25
1.4.1 Il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio	27
1.4.2 Il sistema di movimentazione orizzontale	29
1.4.3 Il sistema di movimentazione verticale	33
1.4.4 La comunicazione tra i sistemi di controllo	34
1.5 Applicazioni dei fasci di ioni esotici	35
1.5.1 Applicazioni in fisica nucleare	35
1.5.2 Applicazioni in fisica dello stato solido	37
1.5.3 Applicazioni mediche: la Tomografia ad Emissione Positronica (PET)	39
1.5.4 Applicazioni in astrofisica	41
1.6 Conclusioni	41
2 Il sistema di movimentazione di camera target e sarcofago	43
2.1 Introduzione	43
2.2 Operazioni del sistema di movimentazione orizzontale	43
2.3 Il cartesiano	45
2.3.1 La base di appoggio	45
2.3.2 Il pianale di carico	50
2.3.3 La struttura portante della piattaforma superiore	51
2.3.4 La piattaforma superiore	51
2.3.5 La struttura di sostegno del coperchio	52
2.3.6 Il carrello	53
2.3.7 Il modulo compensatore	53
2.3.8 L'utensile di presa Schunk	55
2.4 I motori e gli azionamenti	57
2.5 I fincorsa	61
2.6 Il sistema ad aria compressa	63
2.7 Il quadro elettrico	64
2.8 Il PLC, Controllore Logico Programmabile	65
2.8.1 Generalità	65

2.8.2	Il PLC del cartesiano	67
2.9	Il sistema di comunicazione	69
2.9.1	Il bus CANopen	70
2.9.2	La rete ethernet	70
2.10	Il gruppo di alimentazione	71
2.11	La collocazione delle apparecchiature per il controllo del cartesiano	72
2.12	Conclusioni	72
3	Software di controllo	75
3.1	Introduzione	75
3.2	Le impostazioni degli azionamenti	75
3.2.1	La messa in servizio	75
3.2.2	L'unità di misura della posizione	76
3.2.3	La regolazione dei controllori	77
3.3	Il programma del PLC	80
3.3.1	L'ambiente di sviluppo	82
3.3.2	La struttura del codice	82
3.3.3	Il blocco funzione derivato Movimentazione_Asse	84
3.3.4	Il controllo manuale	87
3.3.5	Il controllo delle movimentazioni automatiche	89
3.3.6	Il controllo globale	98
3.3.7	Gli output	98
3.4	Conclusioni	99
4	Le interfacce di controllo	101
4.1	Introduzione	101
4.2	L'interfaccia SCADA	101
4.2.1	La comunicazione tramite variabili	102
4.2.2	L'interfaccia grafica	106
4.3	La HMI	111
4.3.1	La comunicazione tra HMI e PLC	113
4.3.2	La struttura dell'interfaccia	114
4.4	Conclusioni	117
5	Documento sulla procedura operativa	119
6	Prove sperimentali	135
	Conclusioni	141
	Bibliografia	143
A	Disegni e tavole delle staffe degli switch	145
B	Programma PLC	157

Il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN

1.1 Introduzione

La materia che costituisce l'aria, gli esseri viventi, gli oggetti e in generale ciò che ci circonda è formata da una struttura di particelle piccolissime aventi dimensioni dell'ordine di grandezza di 10^{-10} metri: gli atomi.

L'atomo è composto da un nucleo centrale, in cui è concentrato più del 99% della sua massa, a sua volta costituito da protoni, aventi carica positiva, e neutroni, aventi carica nulla; attorno al nucleo, entro una certa distanza, vorticano gli elettroni, aventi carica uguale e opposta a quella dei protoni. In realtà tale concetto è frutto di una semplificazione: la posizione e la quantità di moto degli elettroni non sono definibili con accuratezza; vengono solamente identificate delle regioni in cui c'è un'alta probabilità della loro presenza, dette orbitali. Comunque in generale gli elettroni si considerano orbitanti in una zona intorno al nucleo e si parla quindi di nube elettronica.

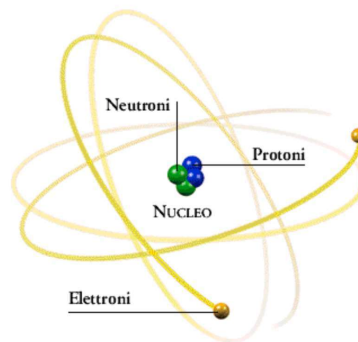


Fig. 1.1: Rappresentazione di un atomo di Elio

Le proprietà chimiche della materia sono determinate sia dal numero di protoni degli atomi che la compongono, sia dal loro numero di elettroni. Le proprietà fisiche dipendono dalla combinazione e disposizione di più atomi.

Il numero di protoni presenti nel nucleo di un atomo è detto numero atomico e determina il tipo di elemento. Il numero di nucleoni, protoni e neutroni, è detto numero di massa. Il numero di protoni è indicato con Z , il numero di neutroni con N e il numero di massa con A . Vale quindi: $A = N + Z$.

L'interazione tra protoni, aventi la stessa carica elettrica, genera una forza coulombiana repulsiva che tende a farli allontanare l'uno dall'altro. La stabilità del nucleo è effetto dall'interazione forte che determina una forza molto intensa tra i nucleoni che bilancia la repulsione elettrostatica. Tale forza ha effetti significativi solamente a distanze inferiori alle dimensioni nucleari; la sua efficacia aumenta al diminuire della dimensione del nucleo e la sua azione è rilevante solo tra nucleoni molto vicini. Quando il numero di massa è molto grande l'interazione coulombiana assume maggiore importanza in rapporto all'interazione forte.

L'interazione nucleare forte vincola il moto dei nucleoni attorno alla massa nucleare centrale. Dato che essa ha una notevole intensità, la rottura del nucleo richiede molta

energia. La branca della fisica che studia il comportamento e la stabilità del nucleo atomico è la fisica nucleare.

I nuclei stabili costituiscono la "valle di stabilità" nella carta dei nuclidi, un grafico avente come coordinate N e Z (Figura 1.2); tali nuclei sono composti approssimativamente da un uguale numero di protoni e neutroni. La loro maggiore stabilità è dovuta principalmente al fatto che l'interazione forte tra protone e neutrone è leggermente più intensa di quella tra protone e protone e tra neutrone e neutrone.

Per nuclei con un numero di massa grande ($A \geq 40$) l'effetto della repulsione elettrostatica sposta la linea di stabilità lontano dalla retta su cui giacciono i nuclei con numero di neutroni uguale al numero di protoni verso nuclei ricchi di neutroni, dato che questi ultimi, in quanto privi di carica, non generano forza coulombiana. Inoltre la forza coulombiana limita anche l'esistenza di elementi super pesanti, dato che il corto raggio di azione della forza nucleare forte non permette un'efficace opposizione alla forza elettrostatica, agente invece anche a più lungo raggio.

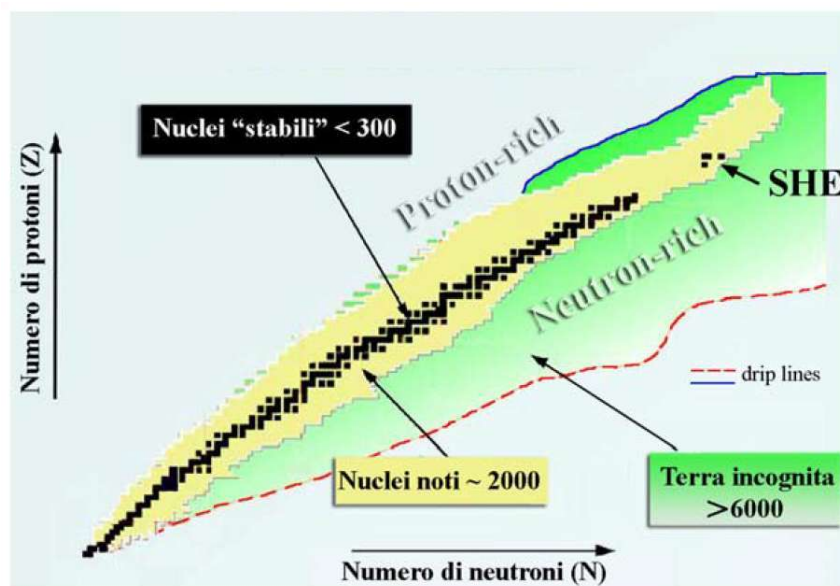


Fig. 1.2: Carta dei nuclidi

I nuclei radioattivi, cioè quelli che decadono con emissioni di particelle (alfa, beta, neutrini, e altre) e raggi gamma, sono lontani dalla valle di stabilità in quanto presentano un eccesso o un difetto di neutroni. Tali nuclei instabili vengono comunemente chiamati "esotici" e fino ad ora circa 2000 di essi sono stati prodotti e caratterizzati nei laboratori di ricerca di tutto il mondo. Tuttavia è teoricamente prevista l'esistenza di un numero di nuclei esotici molto più elevato, più di 6000, ed è possibile che un gran numero di essi sia presente nella zona chiamata "terra incognita", che comprende la regione ricca di neutroni (neutron-rich) e quella dei nuclei superpesanti (SHE, Super Heavy Elements).

Nella carta dei nuclidi i nuclei stabili sono indicati con quadratini neri; essi sono non radioattivi o con tempo di decadimento comparabile o superiore all'età della Terra. La regione di colore giallo individua i nuclei instabili che possono avere vita più o meno breve a seconda dei casi. Aggiungendo neutroni o protoni ad un nucleo stabile ci si allontana dalla valle di stabilità fino a raggiungerne i limiti detti drip lines, caratterizzati da una forza di attrazione tra neutroni e protoni talmente debole che calcoli teorici hanno dimostrato che, oltre tali margini, vengono emessi nucleoni molto rapidamente formando nuovi nuclei, con combinazioni di protoni e neutroni tali da poter rientrare nell'area di potenziale stabilità.

La "terra incognita", indicata in verde nella carta dei nuclidi, è caratterizzata da nuclei radioattivi con rapporto N/Z molto piccolo o molto grande; l'area con grandi numeri di

protoni (proton-rich) è relativamente ben definita teoricamente, mentre l'area neutron-rich è molto più vasta e meno definita.

Lo studio dei nuclei instabili, ed in particolare dei nuclei esotici, ha aperto nuovi campi di ricerca in fisica nucleare, ha permesso di confermare ipotesi di fondamentale importanza, ha suggerito promettenti applicazioni in fisica dello stato solido ed in medicina e ha notevoli risvolti in astrofisica.

Per la produzione e l'utilizzo pratico di ioni radioattivi di questo tipo è necessaria la costruzione di sistemi acceleratori ed attrezzature capaci di garantire fasci ionici di elevata purezza, intensità ed energia, detti facilities; a tale scopo nei Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) è in corso la costruzione di una facility ISOL di nuova generazione per la produzione di fasci di ioni esotici.

1.2 Il progetto SPES

La richiesta mondiale di fasci radioattivi intensi e di alta qualità sta guidando lo sviluppo di una nuova generazione di facilities per la produzione di RIB (Radioactive Ion Beams), sia in Europa che nel resto del mondo. In ambito europeo, le opportunità scientifiche offerte dai RIB ed i notevoli problemi tecnologici ad essi associati, hanno portato la comunità scientifica a proporre la costruzione di una rete di facilities complementari, definite di "intermedia generazione", fondamentali per arrivare alla costruzione di un'unica grande facility europea, chiamata EURISOL: tale progetto rappresenta un'iniziativa che vede coinvolti i principali laboratori nucleari europei, ed è dedicato allo studio ed alla progettazione di una struttura per la produzione di fasci radioattivi di qualità significativamente superiore a quella attualmente disponibile.

All'interno di tale programma, presso i LNL è in costruzione una facility intermedia di tipo ISOL, in grado di produrre fasci di ioni radioattivi ricchi di neutroni e di alta qualità, con nuclei di massa compresa tra 80 e 160 uma. Il progetto è denominato SPES (Selective Production of Exotic Species).



Fig. 1.3: Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN

La coordinazione del programma prevede, a livello nazionale, la collaborazione tra cinque sezioni dell'INFN (LNL, Laboratori Nazionali del Sud, Napoli, Bari, Bologna), l'ENEA (Bologna), i Dipartimenti di Ingegneria Meccanica e di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova e, a livello internazionale, strette collaborazioni con il CERN (Svizzera) ed i Laboratori di Oak Ridge (USA).

SPES è un progetto multidisciplinare il cui scopo è quello di costruire un apparato sperimentale per la produzione di fasci di ioni radioattivi al fine di indagare sui nuclei atomici instabili, oggetto di studio della fisica nucleare, che sono presenti in grandi quantità durante le fasi terminali della vita delle stelle, da cui derivano gli elementi pesanti

conosciuti in natura. La maggior parte delle proprietà dei nuclei atomici attualmente conosciute derivano dagli studi condotti sui nuclei che si trovano nella cosiddetta valle di stabilità beta, oppure da nuclei con carenze di neutroni. Nuclei atomici con combinazioni fortemente asimmetriche di protoni e neutroni si ritiene siano in grado di rivelare nuove caratteristiche della struttura nucleare.

Gli obiettivi del progetto SPES sono suddivisi in quattro aree interdisciplinari distinte:

SPES- α Prevede l'acquisizione, l'installazione e la messa in servizio di un ciclotrone, avente elevata corrente di uscita (circa 0.7 mA) ed alta energia erogata (fino a 70 MeV), unitamente alla predisposizione delle infrastrutture per l'acceleratore e per le stazioni sperimentali. Il ciclotrone sarà dotato di due porte di uscita, configurazione adatta al duplice obiettivo del progetto, ovvero la ricerca di base e le applicazioni tecnologiche. In particolare uno dei due fasci sarà dedicato alla ricerca nell'ambito della fisica nucleare, attraverso la produzione di ioni ricchi di neutroni per mezzo delle collisioni dei protoni su un bersaglio di carburo di uranio, mentre la seconda porta di uscita sarà dedicata alla fisica applicata.

SPES- β Prevede lo studio di nuove specie prodotte dalle collisioni di elementi ricchi di neutroni accelerati contro opportuni bersagli. Da tali collisioni saranno prodotti nuovi nuclei, estremamente ricchi di neutroni, che sono simili a quelli generati nelle fasi avanzate dell'evoluzione stellare e che non sono presenti sulla Terra a causa della loro breve vita. L'indagine su tali elementi è una nuova frontiera della fisica, perché permette di ampliare le conoscenze sui nuclei in condizioni estreme e fornisce un valido contributo alle informazioni di base sull'evoluzione stellare.

SPES- γ Riguarda la produzione di radionuclidi di interesse medico e utilizza lo stesso ciclotrone previsto per SPES- α . L'obiettivo è la produzione di radiofarmaci innovativi, ad esempio quelli basati sulle combinazioni degli elementi $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ e $^{68}\text{Ga}/^{68}\text{Ge}$, così come la produzione di radionuclidi convenzionali con nuovi approcci che utilizzino l'acceleratore come sorgente.

SPES- δ Prevede lo sviluppo di una fonte di neutroni intensa, che utilizza il ciclotrone e, in aggiunta o in alternativa, un acceleratore lineare ad alta intensità basato sulla tecnologia quadrupolo a radiofrequenza (RFQ, RadioFrequency Quadrupole). Applicazioni della sorgente di neutroni hanno risvolti notevoli in astrofisica nucleare, per verificare l'elettronica nello spazio, il trattamento dei rifiuti nucleari e in campo medico per i trattamenti sperimentali dei tumori.

1.2.1 Facility ISOL

La tecnica ISOL (Isotope Separation On-Line) per la produzione di nuclei esotici, schematizzata in figura 1.4, prevede la separazione degli isotopi in linea. I principali componenti di una facility di questo tipo sono:

- l'acceleratore primario
- il complesso target e sistema di estrazione e ionizzazione
- i separatori di massa ed isobari
- il post acceleratore

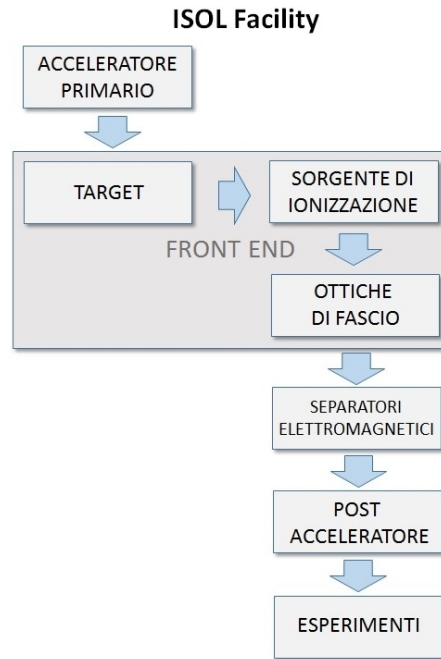


Fig. 1.4: Schema di una facility ISOL

Un fascio di particelle di una certa energia, proveniente dall'acceleratore primario, viene indirizzato a collidere con un bersaglio (target) di materiale fissile; come conseguenza avviene la produzione di isotopi radioattivi tramite reazioni nucleari (fissione, spallazione, frammentazione, ecc). Con un opportuno sistema i radioisotopi prodotti vengono estratti e ionizzati; in modo da poter poi essere accelerati da una differenza di potenziale elettrico. Il primo stadio di accelerazione avviene nella struttura detta front end (figura 1.5) che attirando gli ioni li invia verso dei separatori elettromagnetici, passando attraverso i quali, il fascio viene opportunamente selezionato e purificato; i separatori sono quindi necessari per ottenere un fascio chimicamente ed isobaricamente puro. Successivamente, gli ioni vengono post accelerati al livello di energia richiesto dal particolare esperimento.

L'intensità del fascio prodotto è normalmente descritta dalla relazione:

$$I = \sigma \Phi N \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \quad (1.2.1)$$

dove σ è la sezione d'urto per le reazioni nucleari, Φ è l'intensità del fascio primario, N è lo spessore del target, ε_1 è l'efficienza di rilascio del target, ε_2 è l'efficienza di ionizzazione e ε_3 è l'efficienza del processo di estrazione.

Una corretta configurazione del complesso target e sistema di estrazione e ionizzazione è cruciale per un efficiente funzionamento di una facility di tipo ISOL; gli obiettivi alla base del dimensionamento sono la massimizzazione della produzione senza deteriorare la purezza del fascio e la minimizzazione del tempo di ritardo, ovvero il tempo che intercorre tra la produzione degli atomi radioattivi e la loro post accelerazione.

La separazione dei prodotti radioattivi dal substrato del target e l'estrazione dei nuclei esotici sono processi fortemente dipendenti dalla temperatura in quanto, all'aumentare dell'agitazione termica, la diffusione delle particelle risulta accelerata. Chiaramente, più breve è la vita media degli atomi radioattivi, minore deve essere il tempo di rilascio; di conseguenza, per quanto appena affermato, il sistema deve essere mantenuto alla più alta temperatura possibile.

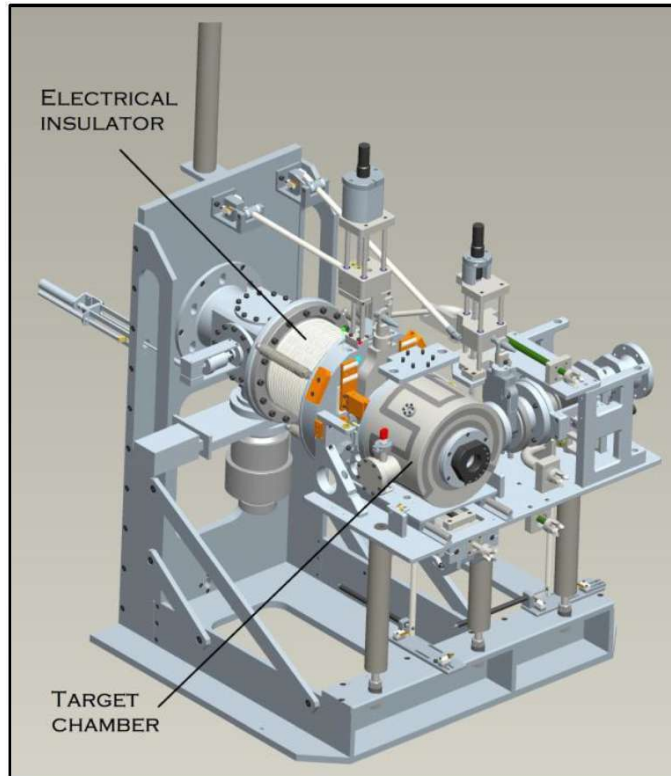


Fig. 1.5: Front End

1.2.2 Layout del progetto

Il principale obiettivo del progetto SPES è fornire un acceleratore che permetta di svolgere ricerca all'avanguardia in fisica nucleare attraverso lo studio di nuclei lontani dalla valle di stabilità. Il progetto è basato sulla produzione di nuclei radioattivi neutron-rich attraverso la fissione nucleare (con una resa massima di 10^{13} fissioni/s) indotta bombardando un target, realizzato in carburo di uranio, con un fascio di protoni di 40 MeV a $200 \mu\text{A}$ di corrente, per una potenza totale di 8 kW. Essendo il livello di radioattività stimato nel target di produzione molto elevato, è necessaria la progettazione di speciali infrastrutture in modo da garantire la sicurezza in termini di radio protezione.

Il progetto SPES prevede inoltre la realizzazione di un acceleratore di neutroni (Neutron Facility) operante per mezzo dell'impiego di un secondo fascio di protoni ad alta energia. La Neutron Facility è un obiettivo secondario del progetto SPES ma ha comunque importanti applicazioni mediche ed interdisciplinari. In figura 1.6.a viene mostrato il layout del progetto SPES nel quale è visibile sia la facility per la produzione del fascio di ioni esotici, sia la Neutron Facility; in figura 1.6.b è visibile la collocazione dell'infrastruttura.

1.2.3 L'acceleratore primario

L'acceleratore primario ha la funzione di produrre un fascio primario di particelle, il quale deve essere direzionato verso il target dove la reazione nucleare ha luogo. Nella facility SPES sarà utilizzato come acceleratore primario un ciclotrone. Tale dispositivo è in grado di garantire le performance richieste per la produzione di fasci di ioni esotici e permette di utilizzare una seconda linea di fascio in modo completamente indipendente così da poter alimentare la Neutron Facility. Il mercato offre oggi la possibilità di produrre, con la tecnologia del ciclotrone, fasci di intensità molto vicina alle richieste del progetto SPES.

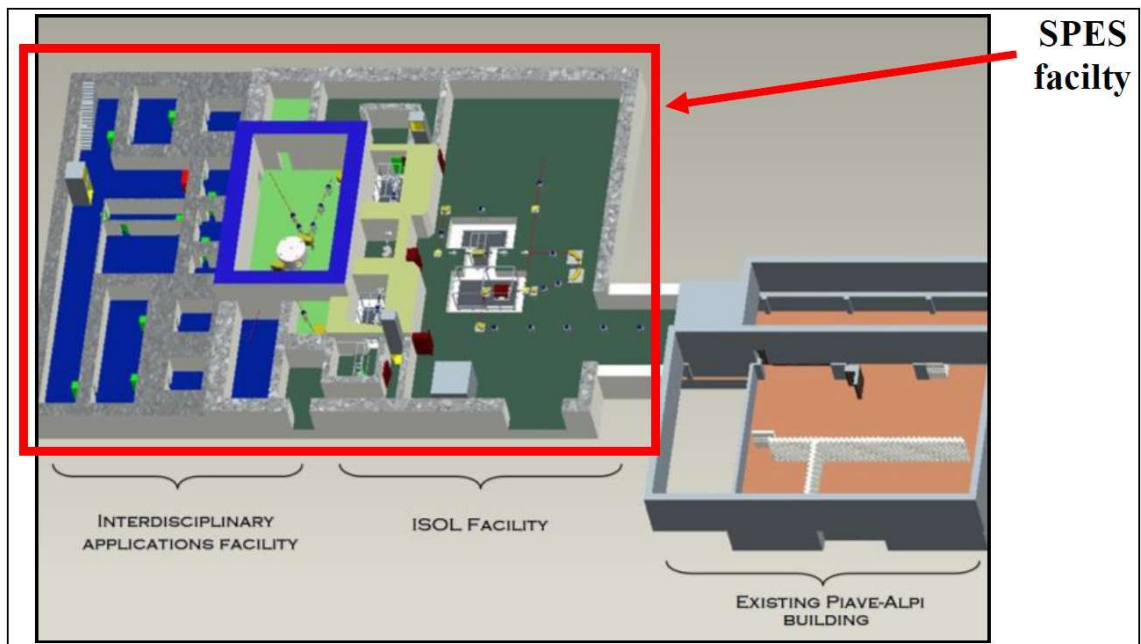
(a) *Layout*(b) *Foto aerea del luogo*

Fig. 1.6: Infrastruttura del progetto SPES

Il ciclotrone scelto per il progetto SPES è il BEST 70p (figura 1.7), sviluppato dalla BestCyclotron, il quale è in grado di fornire due fasci di protoni indipendenti fino a 70 MeV di energia ed aventi una corrente massima di $750 \mu\text{A}$.

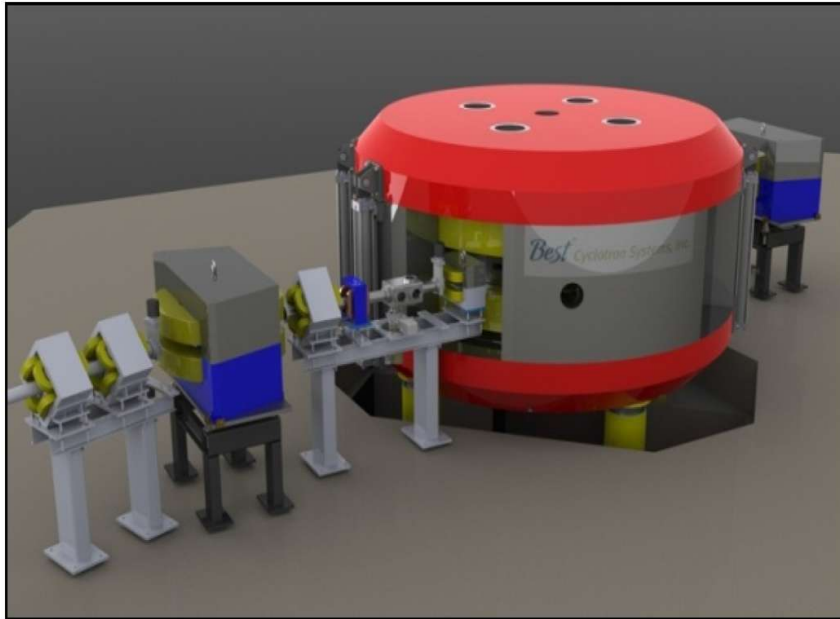


Fig. 1.7: Acceleratore primario

1.2.4 Il target di produzione ed il sistema di estrazione e ionizzazione

Il target di produzione dei radioisotopi ed il sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi sono contenuti all'interno di una camera di forma cilindrica detta camera target (figura 1.8). A causa delle elevate potenze caratteristiche del processo di produzione, è necessario raffreddare la camera mediante un opportuno circuito di raffreddamento a liquido. Inoltre, a causa delle alte temperature, l'interno della camera viene mantenuto in condizioni di alto vuoto (con pressione dell'ordine dei 10^{-6} mbar) per evitare l'ossidazione dei componenti presenti. La mancanza di atmosfera è inoltre necessaria per aumentare il cammino libero medio delle particelle radioattive prodotte. Il volume della camera è delimitato dallo spallamento di una flangia (plate) e da un coperchio (cover) a forma di pentola, entrambi realizzati in lega di alluminio, mentre la tenuta a vuoto è garantita da un ORing.

Il target è composto da sette dischi coassiali in carburo di uranio (UC_x), aventi 40 mm di diametro e circa 1 mm di spessore ed opportunamente distanziati in direzione assiale, al fine di dissipare attraverso radiazione termica la potenza sviluppata dal fascio di protoni. Essi sono contenuti in una scatola (box) costituita da un tubo cavo di grafite, avente un diametro esterno di 49 mm e una lunghezza di 200 mm (figura 1.9.a). Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, attraversa due finestre in grafite (windows), molto sottili per non attenuare l'intensità del fascio, ma di fondamentale importanza in quanto consentono di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo raffreddamento del materiale fissile in corrispondenza dell'ingresso del fascio. Dopo aver investito le due finestre di grafite e i dischi di carburo di uranio, il fascio primario impatta su tre dumper e sul fondo scatola (box base); questi elementi provvedono all'assorbimento definitivo del fascio, in modo che non attivi la camera esterna, e ad evitare la fuoriuscita di particelle dal lato posteriore del target.

La scatola deve mantenere una temperatura media di $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ (figura 1.9.b), per rendere migliore l'estrazione dei prodotti di fissione. Essendo la potenza del fascio di protoni

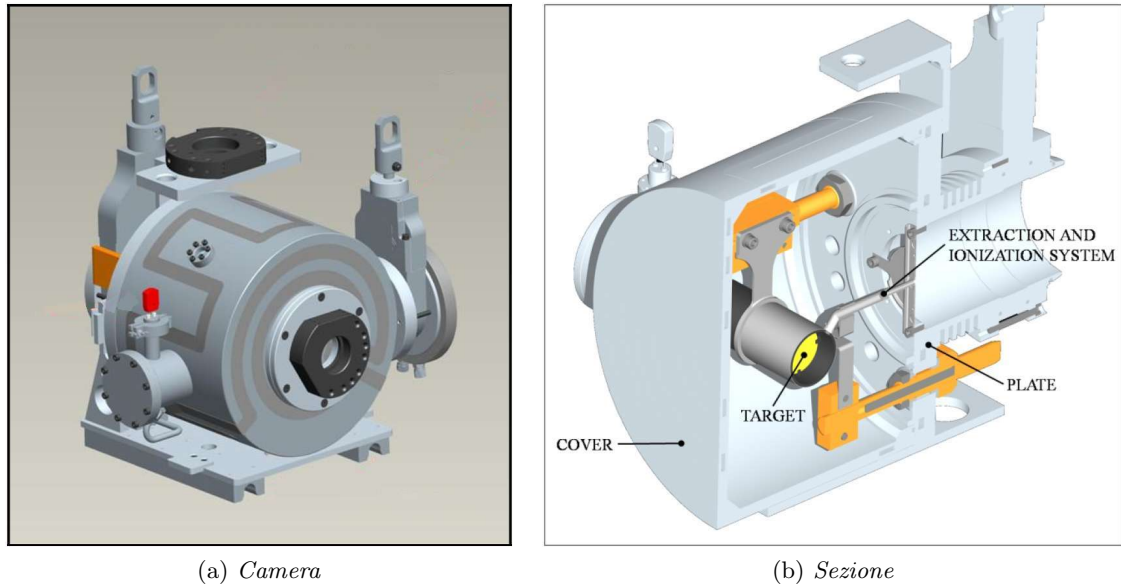


Fig. 1.8: Camera target

non sufficiente a portare il target alla temperatura richiesta, è necessario introdurre un dispositivo indipendente avente la funzione di scaldare e schermare il target. Inoltre, il sistema di riscaldamento supplementare deve essere in grado di sostenere il target durante i transitori, evitando improvvisi sbalzi di temperatura molto pericolosi per l'integrità strutturale dei dischi. Il riscaldatore (heater) è composto da un tubo molto sottile (tube) saldato ai bordi a due ali (wings) direttamente collegate a dei morsetti in rame (clamps); facendo passare corrente elettrica attraverso i morsetti è possibile produrre per effetto Joule il desiderato flusso di calore. La dissipazione di potenza elettrica per effetto Joule in aggiunta al calore sviluppato dalla fissione nucleare, fa in modo che la temperatura del sistema scatola-dischi sia mantenuta al valore di utilizzo. Il materiale scelto per il riscaldatore è il tantalio: si tratta di un metallo altamente resistente alla corrosione, in grado di condurre bene corrente e calore e di raggiungere temperature molto elevate.

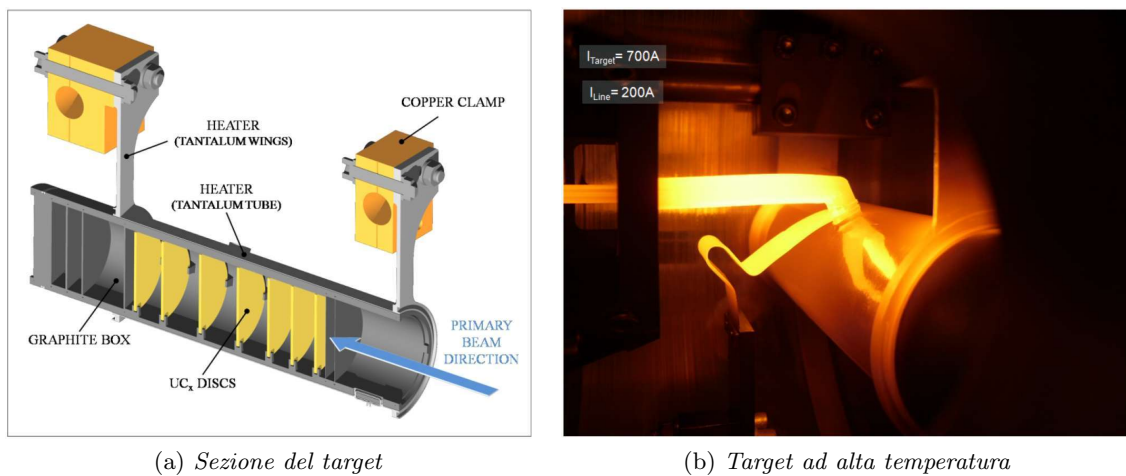


Fig. 1.9: Target

Il processo di fissione nucleare, che avviene quando il fascio di protoni investe i sette dischi in carburo di uranio, produce nuclei radioattivi aventi massa compresa tra gli 80 ed

i 160 uma; per la produzione di un RIB la specie esotica desiderata deve essere estratta dal target e ionizzata. Tale processo richiede del tempo e non può essere applicato ad isotopi aventi una vita media inferiore a poche decine di millisecondi. Il processo di estrazione è operato attraverso la linea di trasferimento (transfer line), mediante la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (ion source), dove sono ionizzati positivamente (ioni +1). Nell'attuale configurazione la linea di trasferimento è un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore ad un'estremità e connesso meccanicamente alla sorgente di ionizzazione all'estremità opposta (figura 1.10). Come accade per il riscaldatore, anche il sistema composto dalla linea di trasferimento e dalla sorgente di ionizzazione viene riscaldato mediante dissipazione di potenza elettrica per effetto Joule; in questo modo la temperatura della sorgente arriva a sfiorare i 2400 °C.

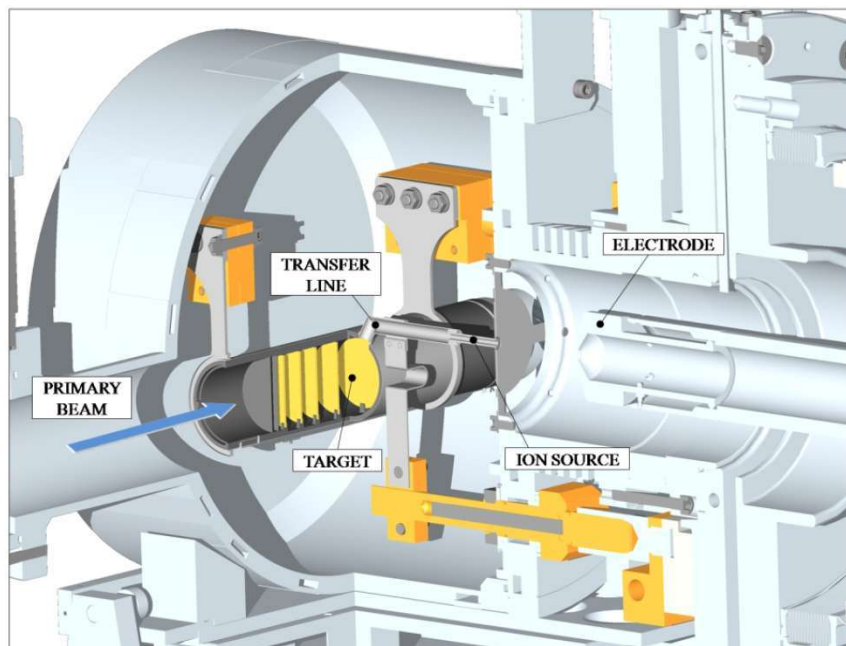


Fig. 1.10: Sezione del sistema di estrazione e ionizzazione

La camera target viene collegata al front end. Tra camera e front end è presente una differenza di potenziale ($V_{camera} - V_{front\ end}$) pari a 60 kV ed è quindi necessario, al fine di evitare il contatto elettrico diretto, interporre un isolante (electrical insulator) (figura 1.5). La differenza di potenziale ha l'effetto di attirare gli ioni radioattivi verso il front end; in particolare il componente che accoglie gli ioni in uscita dalla sorgente di ionizzazione è un elettrodo (electrode) realizzato in lega di titanio (Ti6Al4V) (figura 1.10) detto elettrodo estrattore (puller). In questo modo si forma il fascio di ioni radioattivi che passerà attraverso i separatori elettromagnetici ed il post acceleratore per poi essere inviato alle sale sperimentali.

La sorgente di ionizzazione è di fondamentale importanza, in quanto il suo funzionamento influenza l'intensità e la qualità del fascio radioattivo. La facility SPES è progettata per tre diverse tipologie di sorgente: una sorgente con ionizzazione di tipo superficiale (Surface Ion Source), una sorgente con ionizzazione laser (RILIS, Resonant Ionization Laser Ion Source) e una sorgente di ionizzazione al plasma (PIS). Per le prime due tipologie di ionizzazione si fa riferimento alla medesima architettura (figura 1.11); si tratta di uno sviluppo della sorgente MK1 ISOLDE sviluppata dal CERN. Il componente principale della sorgente MK1 è la hot cavity. Si tratta di un tubicino in tungsteno all'interno del quale avviene la ionizzazione.

La hot cavity, dotata di un opportuno invito conico, viene accoppiata per interferenza

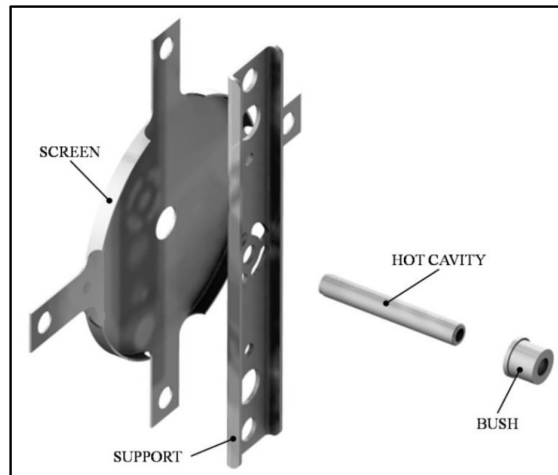


Fig. 1.11: Architettura sorgente di ionizzazione superficiale

al foro centrale del supporto (support) in tantalio; la gestione delle tolleranze è tale da impedire qualsiasi movimento relativo tra i due componenti. Dall'altra parte, il collegamento con la linea di trasferimento avviene per mezzo di un tappo (bush) in tantalio, sul quale vanno in battuta sia la linea di trasferimento sia la hot cavity. Le elevate temperature raggiunte dalla sorgente di ionizzazione in condizioni di utilizzo, fanno sì che i componenti si saldino tra loro. Il collegamento tra il supporto e la flangia principale avviene mediante quattro viti DIN912 M5x12.

Tra supporto e flangia principale viene interposto uno schermo (screen) in tantalio; si tratta di un componente fondamentale per l'estrazione degli isotopi radioattivi.

Sorgente di ionizzazione superficiale

Nel caso della sorgente di ionizzazione superficiale la ionizzazione avviene grazie allo strisciamento degli isotopi radioattivi provenienti dal target sulla superficie interna della hot cavity. A causa di tale strisciamento gli isotopi cedono un elettrone e vengono quindi ionizzati positivamente (ioni +1). Questo è possibile se la minima energia necessaria per rimuovere un elettrone da una superficie (funzione di lavoro) è maggiore del potenziale di ionizzazione dell'isotopo. Nel caso in esame si riescono a produrre con elevata efficienza ioni positivi per elementi con potenziale di ionizzazione inferiore alla funzione di lavoro del tungsteno che è pari a circa 5 eV. L'elevata temperatura a cui si trova la sorgente permette di avere un processo di ionizzazione efficiente; l'agitazione termica favorisce infatti il moto Browniano incrementando i contatti tra isotopi e superficie.

Lo svantaggio principale di tale metodo sta nel fatto che la ionizzazione non è selettiva, cioè non vengono ionizzati soltanto gli isotopi della specie desiderata. Devono quindi essere utilizzati dei separatori elettromagnetici in grado di selezionare, in base alla massa, le particelle presenti nel fascio. In ogni caso la purezza del fascio non è garantita; vi sono infatti isotopi di diversa specie tra loro isobari, aventi cioè lo stesso numero di massa A ma un diverso numero atomico Z (come ad esempio il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn). Per separare tali elementi sono necessari dei separatori isobari; questi dispositivi, oltre ad essere molto complicati e costosi sono anche poco affidabili, inoltre riducono notevolmente l'intensità del fascio.

Questa tipologia di sorgente permette di ottenere anche ioni negativi. La produzione di fasci di atomi esotici ionizzati negativamente è comunque problematica; non tanto per la produzione degli ioni, per cui è sufficiente realizzare la hot cavity con un materiale la cui funzione di lavoro sia inferiore all'affinità elettronica degli isotopi, bensì per la loro

accelerazione. La differenza di potenziale presente tra la camera target, il front end ed i sistemi di post accelerazione deve essere invertita; questo è possibile soltanto se si dispone di particolari dispositivi denominati charge exchange devices.

Sorgente con ionizzazione laser

Il metodo RILIS (figura 1.12) è oggi il più potente strumento per la produzione di fasci di ioni radioattivi per le facilities di tipo ISOL, in quanto permette un processo di ionizzazione selettiva e garantisce la soppressione di contaminazioni indesiderate a livello della sorgente di ionizzazione. Il metodo RILIS utilizza la stessa architettura della tecnica di ionizzazione superficiale.

Un laser composto dalla sovrapposizione di più raggi (due o tre a seconda dell'elemento chimico da ionizzare) aventi lunghezze d'onda e quindi frequenze differenti, corrispondenti a diversi valori energetici dei fotoni emessi ($E = hf$, dove h è la costante di Planck ed f è la frequenza d'onda), viene proiettato all'interno della hot cavity. Tale laser irradia gli isotopi e fornisce loro l'energia necessaria per far compiere all'elettrone più lontano dal nucleo dei salti quantici verso orbitali più esterni fino alla separazione dall'atomo; in questo modo si ha la formazione di uno ione positivo $+1$.

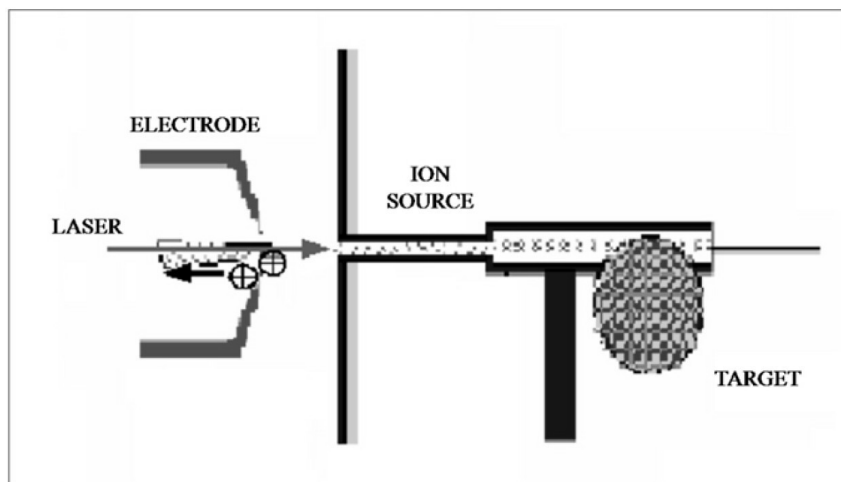


Fig. 1.12: Struttura sorgente di ionizzazione laser

La metodologia di ionizzazione RILIS permette di acquisire soltanto ioni radioattivi della specie di interesse e permette quindi di ottenere un fascio nel quale le contaminazioni sono minime. In ogni caso, a causa dell'architettura della sorgente, c'è la possibilità che alcuni elementi, in particolare il cesio, vengano ionizzati per strisciamento; gli ioni così prodotti "sporcano" il fascio. Per risolvere tale inconveniente è possibile sostituire il materiale che costituisce la hot cavity; passando al niobio la ionizzazione superficiale viene notevolmente attenuata.

Per avere un'efficienza di ionizzazione elevata è di fondamentale importanza limitare e controllare il disallineamento della hot cavity causato dall'espansione termica. Se la hot cavity è disallineata viene a ridursi la zona di azione del laser e di conseguenza l'efficienza di ionizzazione diminuisce (figura 1.13).

Sorgente di ionizzazione al plasma

Con questo tipo di sorgente gli atomi vengono ionizzati a causa dell'impatto con elettroni accelerati per effetto termoionico.

Il processo avviene in una struttura costituita da un catodo e un anodo (figura 1.14). Il catodo viene riscaldato grazie al passaggio di una corrente continua di $330 \div 340$ A; a causa

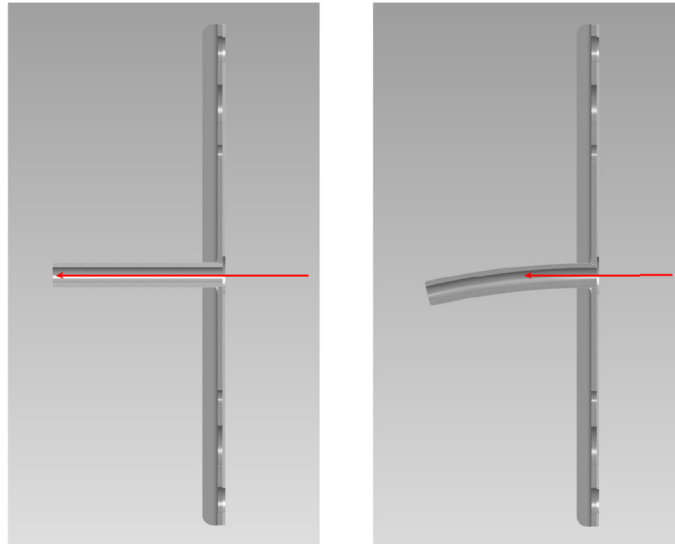


Fig. 1.13: Allineamento e disallineamento della hot cavity

dell'alta temperatura questo componente emette elettroni verso una camera che funge da anodo all'interno della quale gli atomi, a causa degli impatti con tali elettroni, perdono uno dei propri, ovvero diventano ioni positivi, e assumono quindi lo stato di plasma.

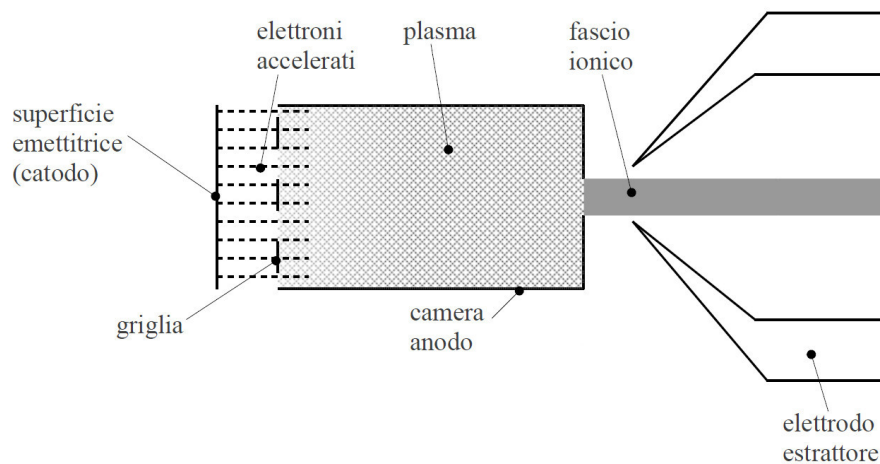


Fig. 1.14: Rappresentazione schematica di una sorgente di ionizzazione al plasma di tipo FEBIAD

Nella facility ISOLDE del CERN viene usata una sorgente di ionizzazione al plasma di tipo FEBIAD chiamata MK5. Nell'ambito del progetto SPES un prototipo di questa sorgente è stato realizzato, testato e ottimizzato dal punto di vista elettrotermico.

Questo tipo di sorgente è in grado di ionizzare qualsiasi tipo di elemento, anche se con efficienze inferiori rispetto alle tecniche laser e superficiale.

In figura 1.15 viene riportata una tavola periodica degli elementi nella quale vengono evidenziati gli elementi di cui, con il progetto SPES, è possibile la produzione di isotopi. In particolare sono indicati gli isotopi che possono essere prodotti con le tecniche di ionizzazione descritte.

		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> surface ionization mechanism <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> laser ionization mechanism <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> electron impact ionization mechanism <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> not extracted </div>																			
1	2													13	14	15	16	17	18		
1	2	1	2													13	14	15	16	17	18
2	3	4													5	6	7	8	9	10	
3	11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54			
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	Main fission ($p \rightarrow {}^{238}\text{U}$) fragments										

Fig. 1.15: Tavola periodica degli elementi

1.2.5 Il separatore elettromagnetico e la post accelerazione

Il fascio estratto dalla sorgente di ionizzazione attraverso l'elettrodo estrattore in seguito viene sottoposto ad una prima fase di purificazione nella quale, attraverso un separatore di massa (figura 1.16), viene intrappolata una grande quantità di contaminanti. La risoluzione di tale dispositivo, $M/\Delta M$, dove M è la massa dell'isotopo desiderato, è pari a circa 300; si riescono così a separare in base alla massa i vari elementi.

Il separatore di massa è seguito da un separatore isobaro, avente una risoluzione pari a 15000, che permette ad esempio di separare isotopi come il ${}^{132}\text{Cs}$ e lo ${}^{132}\text{Sn}$.

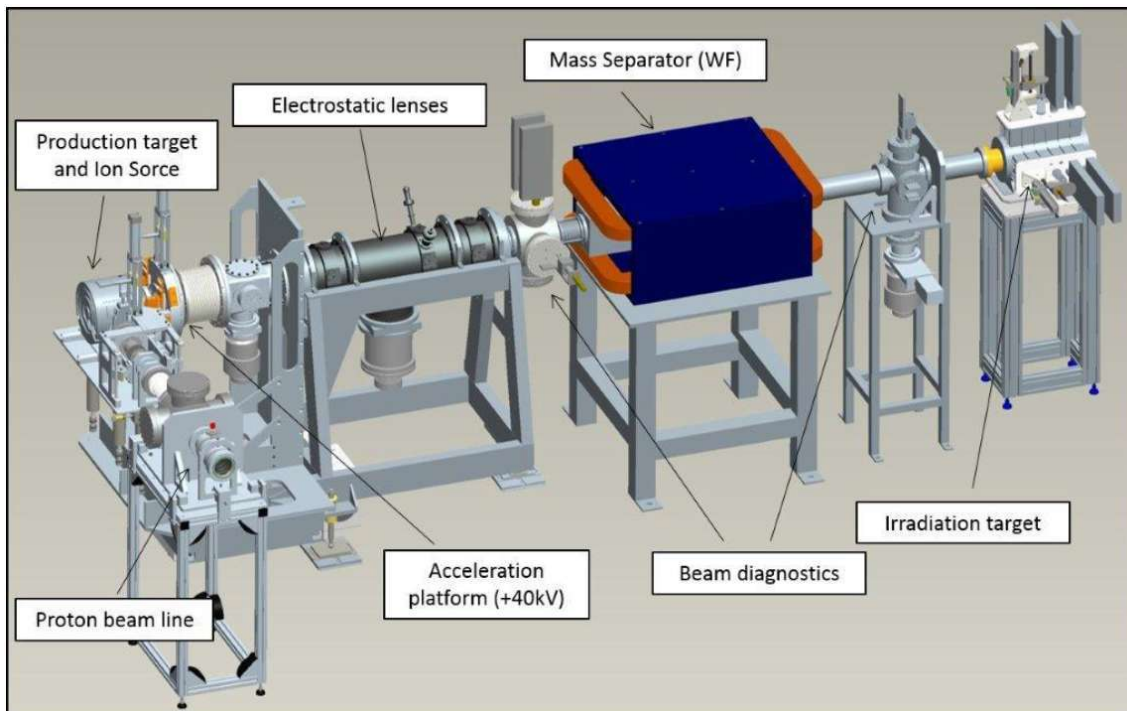


Fig. 1.16: Front end e stadi successivi

A questo punto il fascio radioattivo può essere direttamente convogliato alle sale sperimentali, per essere utilizzato in esperimenti che richiedono fasci radioattivi di bassissima

energia, oppure può essere post accelerato. La post accelerazione viene ottimizzata mediante l'impiego di un Charge Breeder, un dispositivo in grado di incrementare la carica degli ioni. Successivamente il fascio attraversa due stadi di post accelerazione, composti da due acceleratori lineari: LINAC e ALPI. Il primo è un acceleratore RFQ (RadioFrequency Quadrupole) di nuova realizzazione, il secondo (Figura 1.17) è già in funzione presso i Laboratori Nazionali di Legnaro.



Fig. 1.17: Acceleratore ALPI

Come spiegato la corrente finale del fascio radioattivo dipende dall'efficienza di molti processi chimici e fisici; complessivamente ci si aspetta, alle sale sperimentali, un fascio di circa $10^6 \div 10^9$ isotopi/s, valore molto inferiore alle 10^{13} fissioni/s che avvengono nel target.

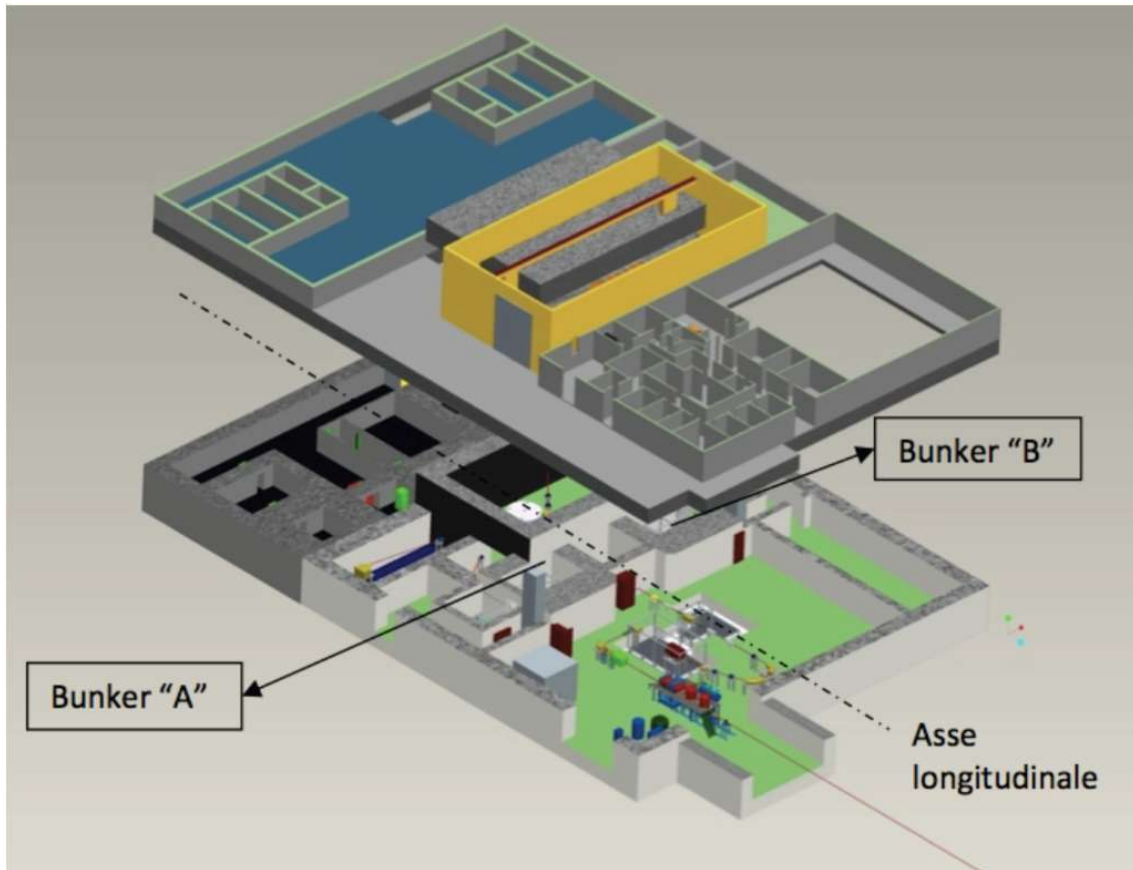
1.3 L'infrastruttura del progetto SPES

L'infrastruttura del progetto SPES è l'insieme dei dispositivi utilizzati per la produzione del fascio di ioni esotici e dell'edificio nel quale tale operazione avviene. Risulta fondamentale considerare aspetti riguardanti l'edilizia, i sistemi all'interno del bunker, la zona adibita alla produzione del fascio, e i sistemi di movimentazione.

Attualmente, per quanto riguarda l'edilizia, è in costruzione l'edificio SPES (Figura 1.18), mentre sono in fase di realizzazione e di test i macchinari utili alla produzione del fascio e alla movimentazione dei componenti.

1.3.1 La zona di produzione degli ioni esotici

La zona di produzione dei nuclei radioattivi è stata progettata per contenere tutta l'attrezzatura utile alla produzione del fascio. Sono necessarie strutture che permettono un elevato livello di sicurezza, soprattutto relativamente all'emissione di radiazioni, in quanto il livello di radioattività nel luogo in cui viene irradiato il target è tale da non permettere la presenza di esseri umani. Per isolare la zona di produzione dagli ambienti esterni sono previsti pareti e solai di grande spessore. Il peso della struttura tende a provocare il suo sprofondamento nel terreno, in particolare per la presenza del ciclotrone che costituisce una massa elevata concentrata in poco spazio. Per ovviare a questo problema sono state realizzate grandi palificazioni, inoltre è previsto un preciso monitoraggio al fine di mantenere sempre il ciclotrone e i sistemi di post accelerazione allineati con il fascio, dato che è collegato anche con gli edifici già presenti ai Laboratori Nazionali di Legnaro.



(a) *Planimetria tridimensionale*



(b) *Cantiere*

Fig. 1.18: Edificio SPES

La planimetria del piano interrato dell'edificio SPES (Figura 1.19) prevede che vi siano due zone di produzione degli ioni esotici, al fine di permettere una produzione continua del fascio che in questo modo non deve essere interrotta nei periodi della necessaria manutenzione ordinaria; queste zone sono disegnate in modo speculare e il fascio di particelle prodotto dall'acceleratore primario può essere indirizzato in una o nell'altra.

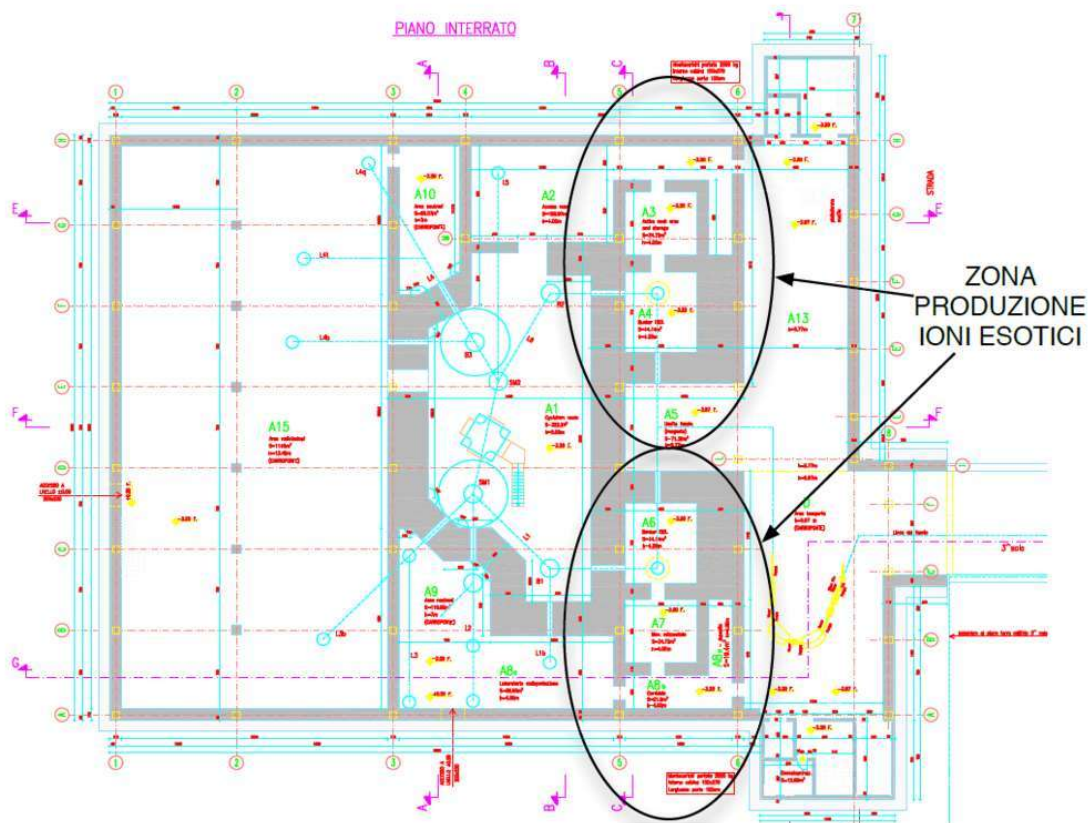


Fig. 1.19: Planimetria del piano interrato dell'edificio SPES

La procedura ordinaria prevede la sostituzione del target ad intervalli di tempo regolari, secondo il seguente ciclo di lavoro della durata di 28 giorni:

1. Inserimento della camera contenente il target
2. Irradiation step: periodo di irradiazione della durata di 14 giorni
3. Cooling time: periodo di 14 giorni durante il quale avviene la diminuzione del livello di radioattività della camera target
4. Estrazione e stoccaggio della camera target

Il sistema può quindi funzionare in modo ininterrotto in quanto una parte può essere utilizzata mentre quella speculare è in fase di raffreddamento o sostituzione del target. I tempi di intervento sono studiati al fine di sottoporre i componenti posti all'interno del bunker ad una dose di radiazioni tale da permettere una diminuzione della radioattività in un lasso di tempo ragionevole. Se i tempi di irradiazione, e quindi di raffreddamento, fossero molto lunghi, in caso di malfunzionamento, il tempo di attesa per poter accedere alla zona ed intervenire sul danno sarebbe eccessivo.

La stanza dove effettivamente avviene la produzione degli isotopi radioattivi viene chiamata camera calda, si trova all'interno della zona bunker ed è il luogo in cui ci sono le

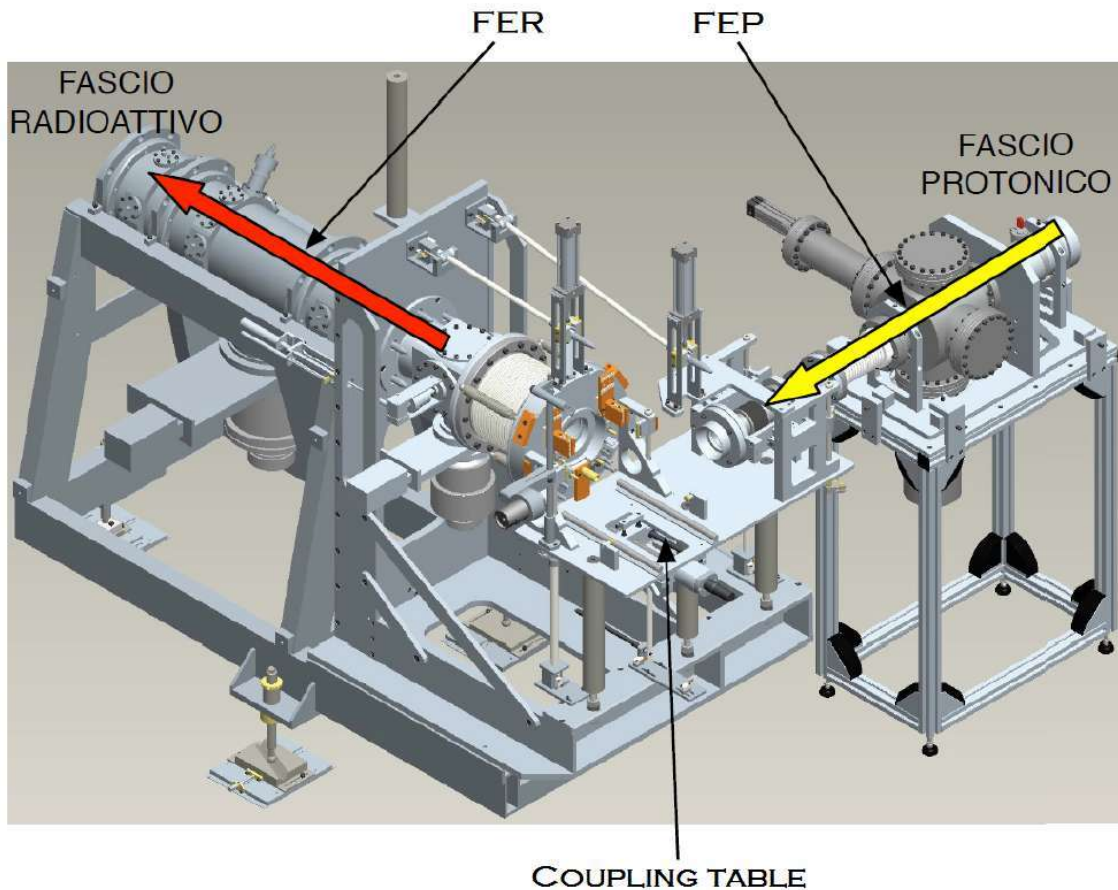


Fig. 1.21: Front end

al transito delle particelle, consente inoltre di evitare che i materiali mantenuti ad alta temperatura all'interno della camera si ossidino. Per raggiungere i livelli di vuoto richiesti devono essere usati molti accorgimenti, in particolare:

- utilizzo di guarnizioni apposite nelle connessioni tra le parti meccaniche dei canali;
- utilizzo del grasso da vuoto per migliorare l'adesione delle guarnizioni;
- trattamento delle superfici interne di ciascun componente con solventi e con vasca ad ultrasuoni;
- trattamenti chimici superficiali per evitare l'eccessivo degasaggio;

Per produrre il livello di vuoto richiesto dal fascio, fino a 10^{-6} mbar, è necessario utilizzare delle pompe di tipo turbomolecolare i cui rotori, ruotando a velocità molto elevate, vengono danneggiati se prima non è stato raggiunto un "prevuoto", dell'ordine di 10^{-2} mbar. È quindi necessario raggiungere la condizione di vuoto richiesta in due passi: prima con delle pompe rotative (figura 1.22.a) e successivamente con le pompe turbomolecolari (figura 1.22.b), installate lungo la linea. In questo modo è possibile eliminare la maggior parte delle particelle sospese.

Per garantire una piena efficienza del sistema e limitare l'usura delle parti meccaniche in movimento, la parte terminale del front end, che comprende la tavola di ammaraggio, è progettata in modo da essere estratta dal bunker per essere sostituita ogni sette anni. Di conseguenza tutte le parti che la compongono devono avere un'affidabilità tale da garantire questo tempo di vita con un certo margine di sicurezza.



Fig. 1.22: Pompe da vuoto

1.3.3 La camera target

La camera target è l'elemento fondamentale del processo di produzione del fascio di ioni esotici, in quanto contiene il target ed è quindi al suo interno che avviene la produzione degli isotopi radioattivi.

La camera è un cilindro cavo di alluminio, del peso di circa 25 kg, nel quale è contenuto il target in cui avviene la reazione nucleare. Come spiegato la temperatura del target deve essere mantenuta a circa 2000 °C per ottimizzare il processo; la temperatura della camera viene mantenuta costante ad un livello più basso grazie ad un apposito sistema di refrigerazione, costituito da una serpentina all'interno della quale scorre acqua (visibile in grigio scuro in figura 1.23).

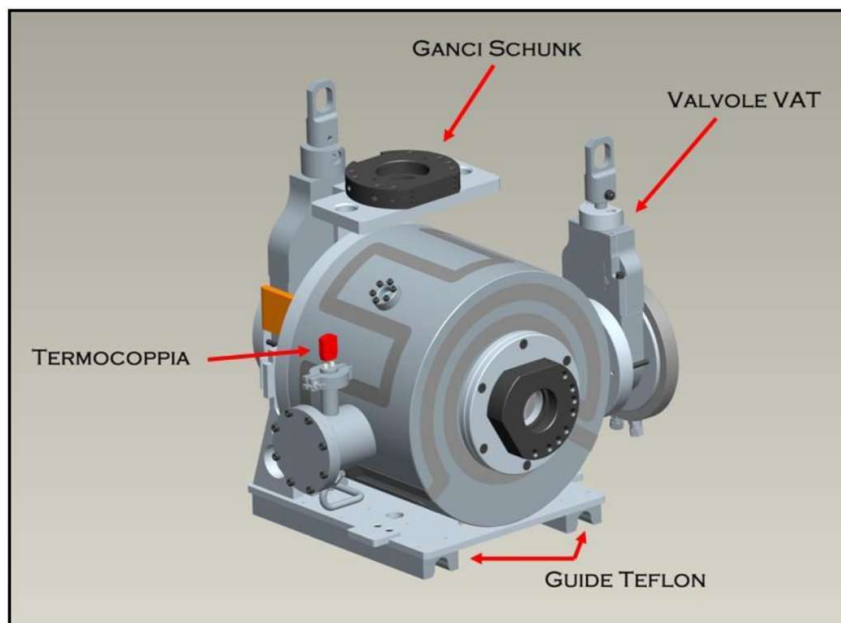


Fig. 1.23: Camera target

Essendo la camera un componente che viene sostituito periodicamente, essa è dotata di una serie di elementi che ne permettono la connessione e la disconnessione rapida, senza la necessità di un intervento umano. Gli elementi che compongono meccanicamente la parte esterna della camera target sono:

- ganci Schunk (sistema di aggancio rapido);

- guide in teflon;
- valvole VAT (valvole per l'alto vuoto);
- termocoppia.

La Schunk è un'azienda multinazionale che produce dispositivi per la presa rapida, elementi di questo tipo sono ampiamente utilizzati in ambito industriale su robot e dispositivi automatici. Nell'ambito del progetto SPES il gancio Schunk viene utilizzato per poter afferrare la camera con i dispositivi di movimentazione previsti. Il sistema di presa funziona grazie all'aria compressa ma rimane attivo anche in caso di interruzione del flusso d'aria al pistone attuatore, caratteristica indispensabile per garantire un'elevata sicurezza durante la movimentazione di materiale radioattivo. Il connettore femmina (figura 1.24.a), montato sulla camera, ha degli appositi fori che permettono ai puntali del connettore maschio (figura 1.24.b), dotati di inviti conici, di inserirsi garantendo il giusto allineamento.

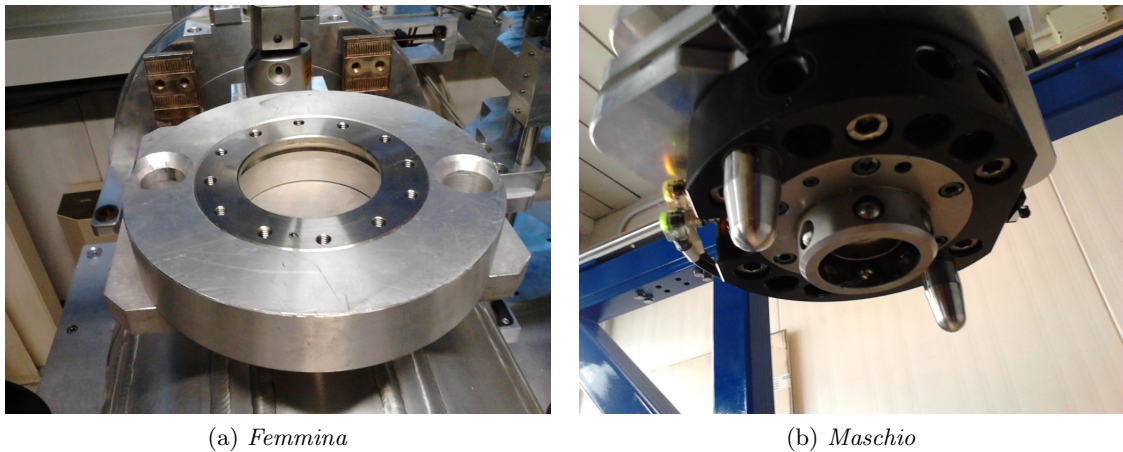


Fig. 1.24: Connettori Schunk

Due guide in teflon sono installate sotto la camera target. Essendo il coefficiente di attrito tra teflon e acciaio molto basso, è possibile, tramite un sistema a "slitte", far scorrere agevolmente la camera sulle rotaie presenti sulla tavola di ammaraggio nelle procedure di connessione e disconnessione della stessa dal front end. La forma delle due guide permette inoltre l'auto centraggio della camera quando viene posizionata nella sua sede (figura 1.25).

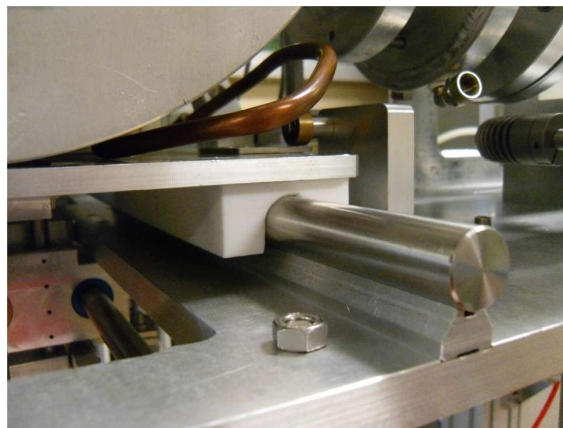


Fig. 1.25: Rotaia con guida in teflon

Le valvole VAT (figura 1.26) sono dispositivi atti alla chiusura di un condotto a tenuta stagna che permettono di mantenerne una condizione di vuoto. Sono garantite fino a pressioni di 10^{-8} mbar, cioè per altissimo vuoto. Sono necessarie dato che, terminato il periodo di irradiazione e raffreddamento, devono essere chiuse prima della rimozione della camera, quando ancora è presente il vuoto sulla linea del fascio, in modo da impedire la fuoriuscita di gas radioattivi e polveri nocive prodotti dal target. La criticità principale di queste valvole è che la loro chiusura richiede una forza notevole. In caso di serraggio non corretto si comprometterebbe la sicurezza dell'impianto, oltre a causare problemi in tutte le azioni di movimentazione successive, in quanto non verrebbero rispettati gli ingombri previsti. È quindi di fondamentale importanza prevedere sistemi di chiusura che garantiscano il corretto azionamento delle valvole VAT.



Fig. 1.26: Valvola VAT installata sulla camera

La termocoppia, installata lateralmente all'esterno della camera, allineata con il target, tocca un disco in grafite inserito in serie ai dischi di carburo di uranio contenuti nel bersaglio; essa serve per rilevare un eventuale aumento di temperatura che si verifica nel caso di rottura di uno o più dischi, cosa che non accade in condizioni di funzionamento standard. In questo modo è possibile interrompere subito il fascio protonico emesso dal ciclotrone nel caso si verifichi un problema.

La parte della camera che si collega al front end presenta, oltre alla flangia di collegamento del canale, altri componenti utili alla connessione ai vari impianti (figura 1.27):

- i puntali;
- gli attacchi rapidi per la serpentina ad acqua;
- l'attacco della termocoppia;
- altri ingressi liberi.

I puntali sono elementi costruiti in rame che permettono di fornire corrente elettrica al target quando la camera è posizionata sulla tavola di ammaraggio e accoppiata al front end. Devono consentire il passaggio di una corrente di 1300 A. A causa dell'elevata intensità di corrente, risultano un elemento critico; è stato riscontrato che dopo un lungo utilizzo

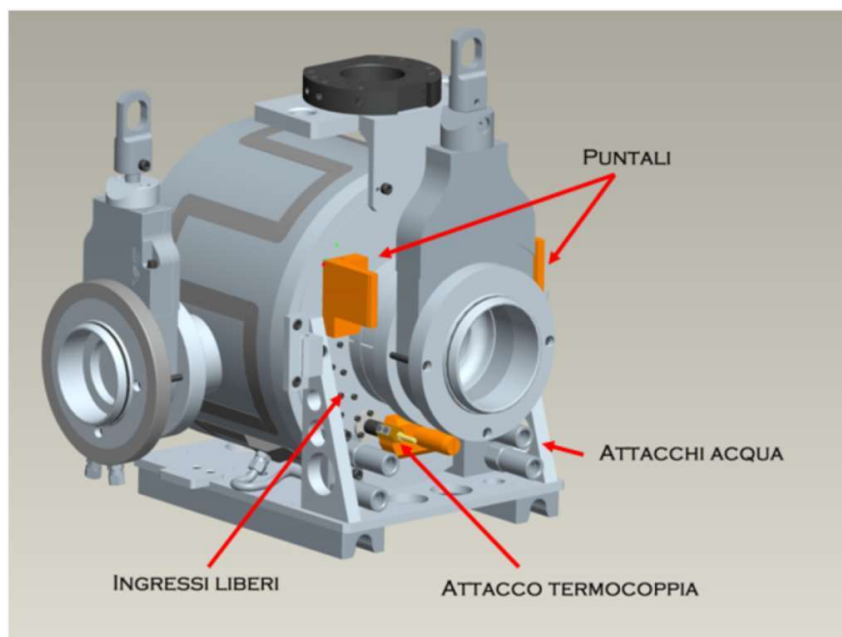


Fig. 1.27: Connettori della camera target

tendono a separarsi limitando il contatto elettrico provocando la produzione di scariche; il problema è stato risolto aumentandone le dimensioni e inserendo nei connettori femmina delle molle che tendono a mantenere serrati i contatti.

Sono presenti anche gli attacchi rapidi per la serpentina per l'acqua di raffreddamento e per la termocoppia, oltre ad alcuni connettori liberi, che permetteranno l'installazione di altri dispositivi.

1.3.4 Il sarcofago

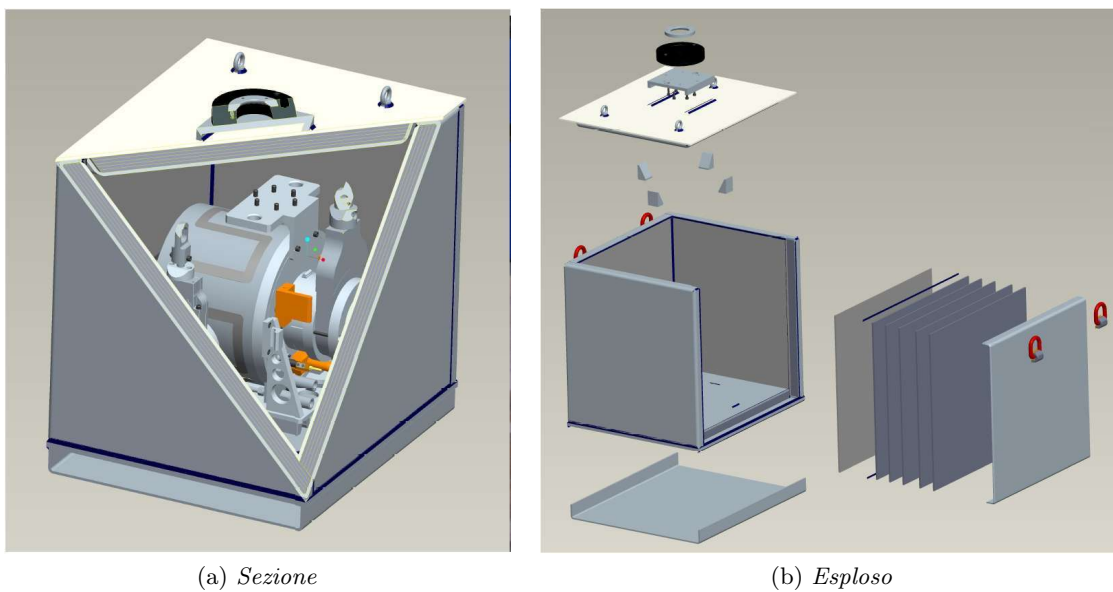
Durante le movimentazioni della camera target, mentre viene portata nella camera calda, ma soprattutto quando viene trasportata dalla camera calda al deposito, e durante lo stoccaggio, allo scopo di schermare almeno in parte le radiazioni da essa prodotte, questa è posta all'interno di un sarcofago (figura 1.28).

Il sarcofago è stato progettato appositamente per contenere la camera target (figura 1.29.a). Per definirne dimensioni e struttura sono stati considerati l'aspetto della radioprotezione e i limiti imposti dagli ingombri della camera. Il sarcofago è costituito da tre elementi fondamentali: il contenitore, la parte di appoggio che lo sorregge e il coperchio. Il contenitore è un parallelepipedo aperto da un lato, formato da cinque pannelli di acciaio e piombo (figura 1.29.b); la parte di piombo serve per fornire la schermatura dalle radiazioni, mentre il guscio in acciaio, che racchiude completamente le lastre di piombo, rende strutturalmente solido il sarcofago. I cinque pannelli sono saldati assieme con un procedimento molto delicato, che richiede una quantità di tempo notevole, per evitare che la parte in piombo fonda.

Il coperchio ha la stessa conformazione delle pareti, con la differenza che è rimovibile. La rimozione può avvenire per mezzo del gancio Schunk, come illustrato per la camera target, o mediante tre ganci ad anello standard saldati sopra. Il primo è presente per rendere disponibile un sistema di aggancio uguale per tutti gli elementi da movimentare mentre il secondo permette di sollevarlo con altri strumenti più convenzionali, come un carroponte o una gru. Ai lati del sarcofago sono presenti quattro ganci per consentirne lo spostamento mediante l'utilizzo di una gru, mentre alla base è possibile inserire le forche di un muletto, o quelle di un transpallet, grazie alla presenza di un apposito rialzo.



Fig. 1.28: Fotografia di un sarcofago



(a) Sezione

(b) Esploso

Fig. 1.29: Sarcofago

La massa del solo coperchio è 100 kg, quella complessiva è 780 kg. Le misure del sarcofago sono

- Altezza: 600 mm
- Larghezza: 530 mm
- Lunghezza: 620 mm
- Altezza del rialzo: 60 mm
- Altezza del sistema di aggancio Schunk: 35 mm

1.3.5 Il deposito temporaneo

Al fine di consentire alle camere target di smaltire le radiazioni assorbite, è necessario mantenerle in un deposito temporaneo per almeno tre anni. Questo sarà realizzato a fianco del bunker, in modo da essere racchiuso all'interno dei muri che consentono di mantenere nulla l'emissione di radiazioni all'esterno. È dotato di una rastrelliera che può contenere fino a 44 sarcofagi, un sistema di movimentazione degli stessi e una porta automatizzata che soddisfa le specifiche di radioprotezione imposte (figura 1.30).

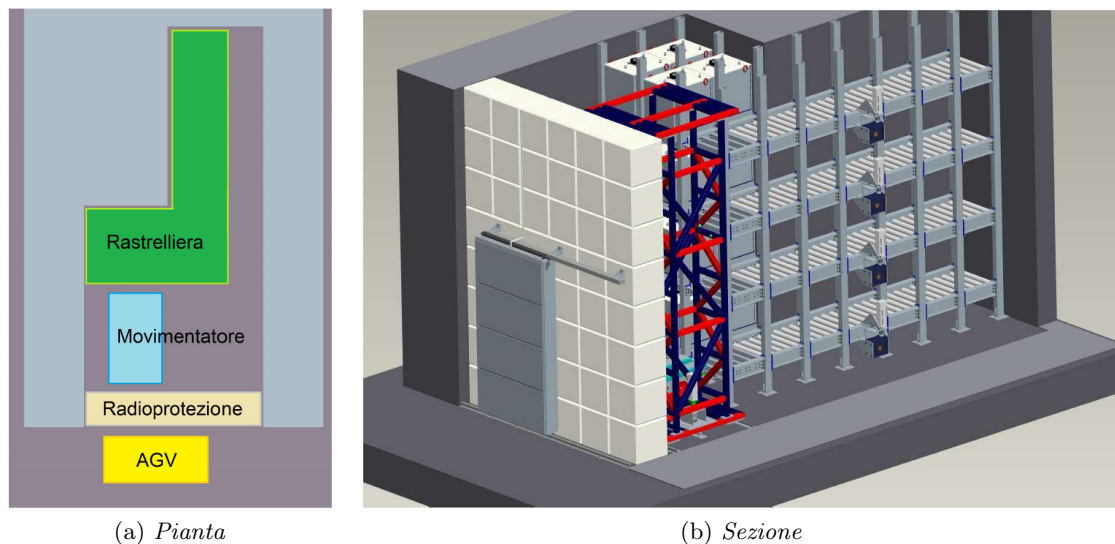


Fig. 1.30: Deposito temporaneo

La rastrelliera è composta da quattro piani, ognuno dotato di una rulliera motorizzata, che permette di spostare i sarcofagi su tutta la lunghezza del piano. Inoltre è ideata in modo da lasciare sempre alcuni posti liberi, così da poterli utilizzare per "ordinare" i sarcofagi. Questa operazione si rende necessaria al fine di poter riporre l'ultimo sarcofago inserito, quello che presenta la radioattività maggiore, nel posto più lontano dall'ingresso. Le emissioni sono limitate sia dai muri che circondano il deposito che dagli altri sarcofagi contenenti le camere più vecchie, caratterizzate da una radioattività inferiore grazie al tempo già trascorso nel deposito.

La movimentazione dei sarcofagi è attuata da un sistema di sollevamento dotato di forcole telescopiche in grado di raggiungere da un lato il veicolo che trasporta il sarcofago dalla camera calda al deposito, detto AGV e illustrato in seguito, e dall'altro la rastrelliera.

Le operazioni di movimentazione sono automatizzate e sono suddivise nelle seguenti fasi:

1. prelievo del sarcofago dall'AGV;
2. deposito del sarcofago sulla rastrelliera;
3. riordinamento dei sarcofagi sulla rastrelliera;
4. deposito del sarcofago all'esterno della rastrelliera.

1.4 I sistemi di movimentazione

Essendoci la necessità di sostituire la camera target periodicamente e dovendo escludere ogni intervento umano nel bunker, i sistemi di movimentazione della camera target e del

sarcofago sono progettati in modo da consentire lo svolgimento delle varie operazioni in modo completamente automatizzato (figura 1.31).

Sono previsti quattro dispositivi principali per la gestione delle movimentazioni della camera target; dall'inserimento nel front end, quando la camera è nuova, allo stoccaggio nel deposito temporaneo, quando giunge a fine vita e deve smaltire la radioattività accumulata. Tali dispositivi sono: il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio, il sistema di movimentazione orizzontale, il sistema di movimentazione verticale e il sistema di movimentazione del deposito temporaneo, già illustrato nel paragrafo 1.3.5.

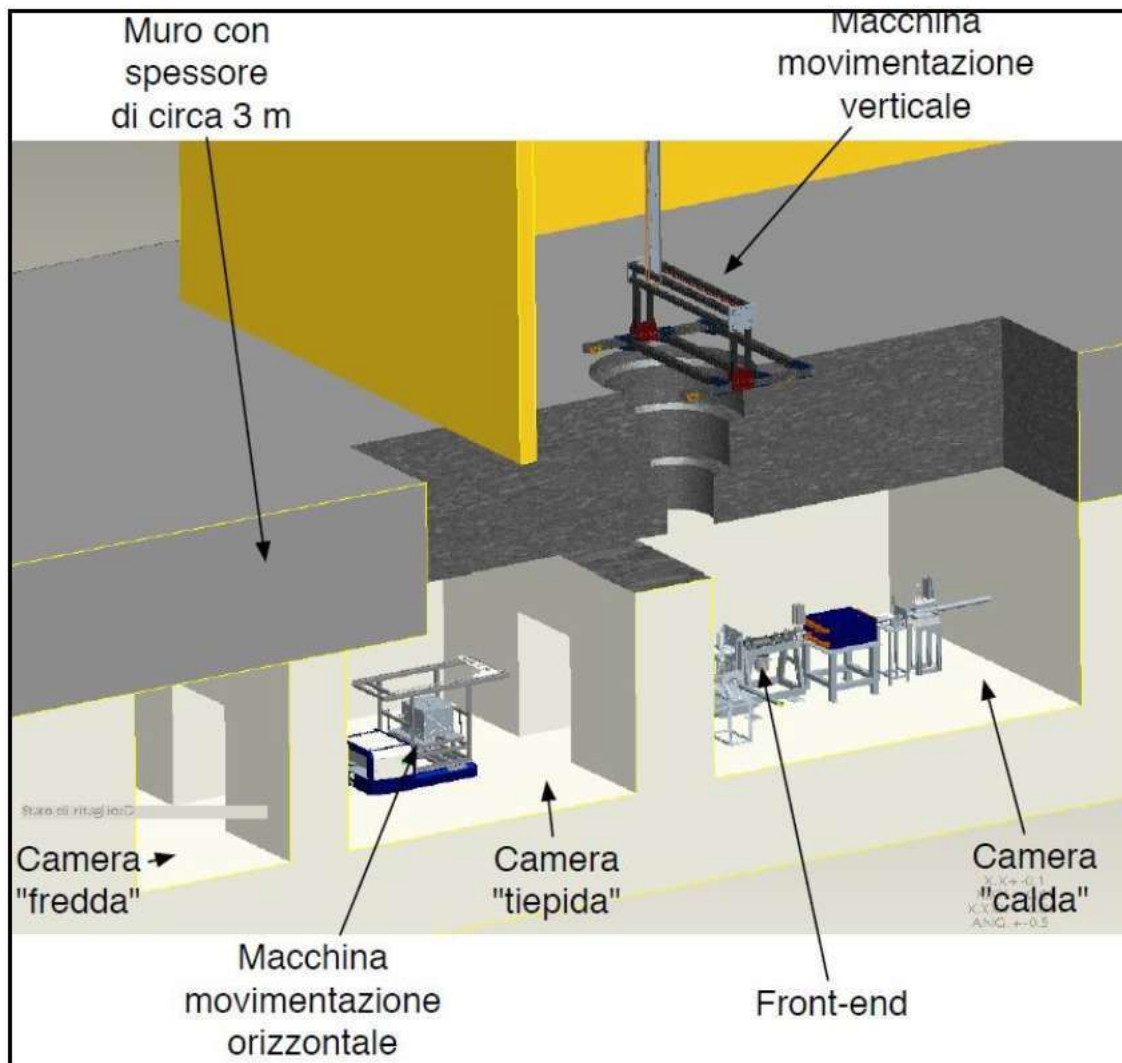


Fig. 1.31: Sistemi di movimentazione della camera target

Il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio ha la funzione di accoppiare e disaccoppiare la camera target dal front end quando si trova su di esso. Il sistema di movimentazione orizzontale ha la funzione di depositare e prelevare la camera target dal front end e di trasportarla fino al deposito temporaneo. Il sistema di movimentazione verticale ha anch'esso la funzione di depositare e prelevare la camera target dal front end. La presenza di due sistemi per lo svolgimento di questa operazione è necessaria per garantire la possibilità di intervenire in base alle diverse circostanze che si possono verificare, come situazioni di emergenza, rotture di uno dei due dispositivi o necessità di svolgere alcune operazioni particolari.

La movimentazione necessita di un forte contributo tecnologico di tipo meccatronico, dato che prevede sia la realizzazione meccanica degli apparati, sia un'intensa attività

controllistica che permetta di gestire ogni operazione con grandi quantità di informazioni, garantendo completa sicurezza.

1.4.1 Il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio

La tavola di ammaraggio ha il compito di gestire la movimentazione della camera target quando è depositata sul front end. Dato che questo sistema sarà posto all'interno del bunker, dovrà lavorare in condizioni gravose dal punto di vista delle emissioni radioattive. Per questo motivo per le operazioni automatizzate non sarà possibile l'uso di componenti elettronici, che verrebbero danneggiati risultando inutilizzabili. È quindi necessario ricorrere a componentistica meccanica, azionamenti pneumatici, e a sensoristica puramente resistiva.

La camera si definisce accoppiata quando è inserita nel front end ed è pronta a ricevere il fascio; disaccoppiata quando è in posizione di deposito o prelievo. Per accoppiare la camera dopo che è stata depositata è necessario operare una traslazione in avanti al fine di spingere la flangia della camera per la connessione al canale radioattivo all'interno della propria sede nel front end, successivamente viene inserita la flangia del canale protonico nella rispettiva sede sul lato della camera, il movimento è effettuato da un soffietto metallico da vuoto, infine si devono aprire le valvole VAT. Per disaccoppiare la camera si svolge il procedimento inverso: vengono chiuse le valvole VAT, il soffietto viene disinserito e la camera viene traslata indietro.

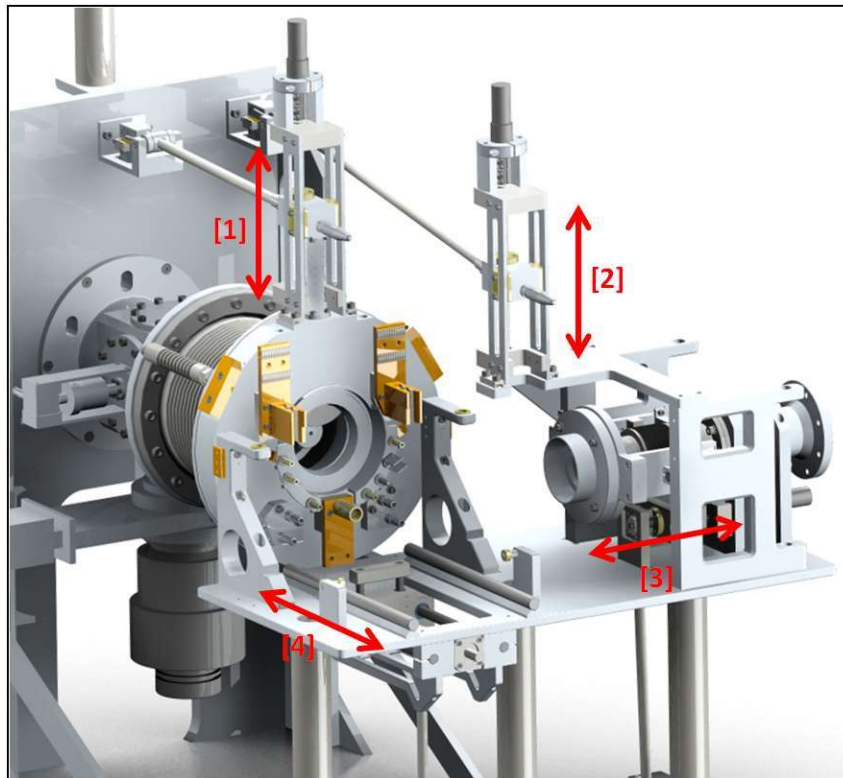
Il sistema di attuazione delle movimentazioni prevede l'utilizzo di quattro viti trapezie con madrevite traslante, messe in rotazione da quattro motori pneumatici azionati mediante una serie di elettrovalvole a loro volta controllate da un PLC. Sono caratterizzate da una corsa meccanica fissa, realizzata in modo da portare a termine le movimentazioni percorrendo la distanza utile a posizionare in modo corretto gli elementi. I quattro movimenti lineari sono (figura 1.32):

1. apertura e chiusura della valvola del canale radioattivo;
2. apertura e chiusura della valvola del canale protonico;
3. collegamento e distacco del soffietto del canale protonico dalla camera;
4. collegamento e distacco della camera target dal canale radioattivo del front end.

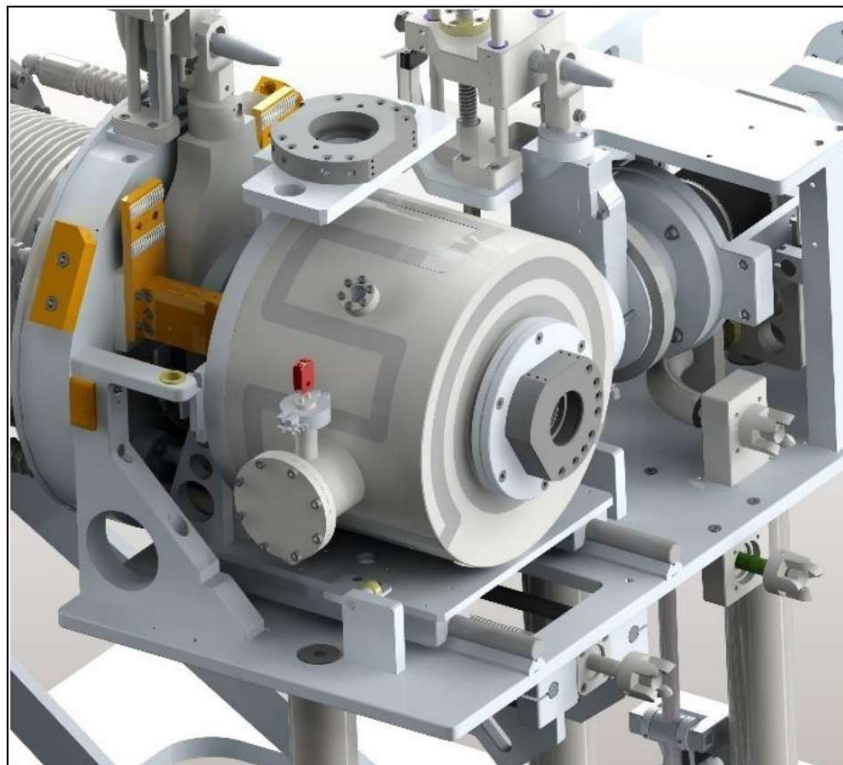
Per le prime due movimentazioni il sistema vite e madrevite permette di alzare o abbassare le due valvole VAT; per la terza permette di traslare lateralmente la flangia del canale protonico; nella quarta movimentazione la madrevite è solidale a un "manico" che agisce sotto la camera, facendo forza su due sporgenze appositamente realizzate sotto di essa, che permettono di muoverla avanti e indietro.

Per verificare l'effettivo compimento delle operazioni sono presenti degli switch di finecorsa posizionati in modo da intervenire al termine di ogni movimentazione. Per evitare problemi dovuti alle radiazioni si utilizzano delle aste per poter attivare gli switch mantenendoli il più lontano possibile dalle emissioni della camera target.

Il sistema è predisposto in modo che le viti trapezie possano essere ruotate anche da dei motori elettrici montati sull'AGV che si connettono ad esse quando il veicolo è nella posizione in cui può prelevare e depositare la camera target. Anche in questo caso la ridondanza dei sistemi è necessaria per garantire la possibilità di intervenire in base alle diverse circostanze che si possono verificare, come in caso di guasti o situazioni di emergenza.



(a) *Movimenti*



(b) *Camera connessa al canale radioattivo*

Fig. 1.32: Movimentazioni della tavola di ammaraggio

1.4.2 Il sistema di movimentazione orizzontale

Il sistema di movimentazione orizzontale, o macchina orizzontale, ha la funzione di trasportare la camera target all'interno del piano interrato. Il progetto iniziale prevedeva una struttura permanente realizzata in modo da far scorrere un telaio su binari posizionati nel corridoio di accesso libero e disposti in modo da poter raggiungere il bunker (figura 1.33). Il telaio, a sua volta, consisteva in un piano di scorrimento sul quale era possibile far tra-

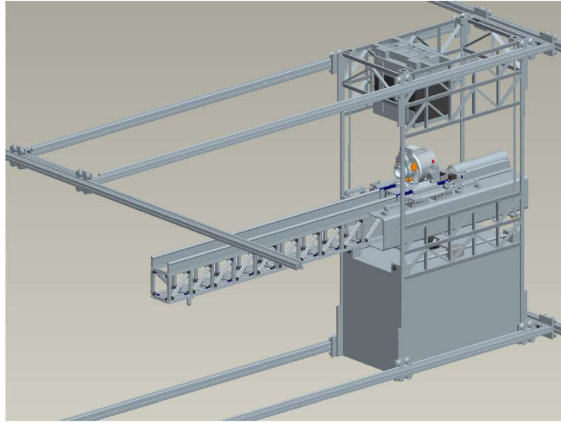


Fig. 1.33: Primo progetto per la movimentazione orizzontale

slare il meccanismo di presa della camera. Per la rimozione era prevista la realizzazione di una sorta di prolungamento dei binari della tavola d'ammarraggio in modo da poter farla scorrere fino al raggiungimento della zona tiepida. Il limite principale del sistema era dovuto all'ingombro notevole all'interno dello stabile, inoltre sarebbe stato impossibile posizionare la camera nel sarcofago, dovendo quindi utilizzare il sistema di movimentazione verticale, illustrato in seguito, per inserirla. È stato quindi progettato un metodo alternativo che potesse dapprima inserirla nel sarcofago, per poter poi movimentare il tutto riducendo l'esposizione alle radiazioni.

Il progetto in fase di realizzazione permette di risolvere i problemi descritti e si basa su un veicolo a guida automatica o AGV (Automatic Guided Vehicle) (figura 1.34). Con questa soluzione è possibile ottenere un sistema che permette di raggiungere varie destinazioni in modo completamente automatizzato senza la necessità della presenza di esseri umani, dal posizionamento della camera nel bunker, al prelievo quando è a fine vita e allo stoccaggio nel deposito temporaneo (figura 1.35).



Fig. 1.34: AGV

L'AGV è dotato di un sistema in grado di muovere la camera lungo due direzioni: verticale e longitudinale. Risulta quindi possibile alzare e abbassare la camera per estrarla

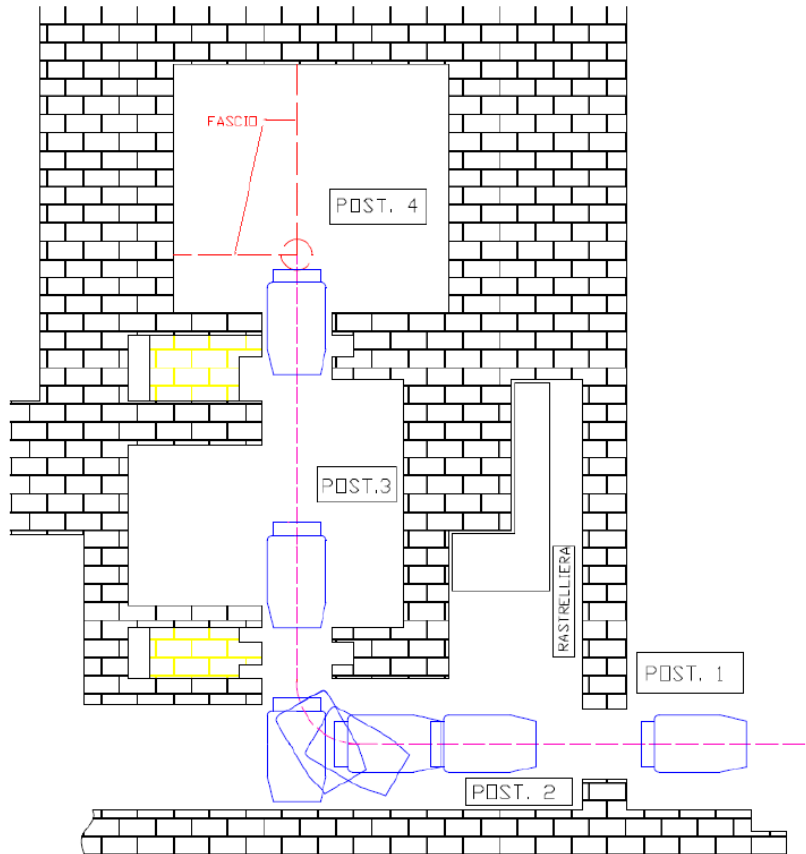


Fig. 1.35: Percorso dell'AGV

o inserirla nel sarcofago, appoggiarla o sollevarla dalla tavola di ammaraggio oltre a poterla allontanare o avvicinare al front end (figura 1.36). Sarà utilizzato un dispositivo Schunk per agganciare la camera. L'AGV è costituito dalla scocca in acciaio, dal sistema di controllo e da tre ruote; di queste solo una è motorizzata e può girare il suo asse in tutte le direzioni, permettendo al veicolo di essere molto agile e consentendo anche la rotazione su sé stesso. Per guidare il veicolo all'interno del bunker sarà installato un sistema di guida ottico: l'AGV seguirà la traiettoria indicata sul pavimento per mezzo di una striscia nera che verrà dipinta o incollata.

I sistemi che compongono la macchina orizzontale sono:

- l'AGV
- il sistema di movimentazione di camera e sarcofago
- l'armadio dei controlli

L'AGV

L'AGV viene fornito composto di telaio, ruota motrice e sistema di guida manuale. L'energia elettrica è fornita da batterie di formato standard. All'interno del telaio vi è lo spazio per alloggiare il sistema di guida automatico. Il piano di carico sulla parte superiore supporta un massimo di 1500 kg, capacità che viene interamente sfruttata. L'autonomia del veicolo è una questione di fondamentale importanza, in quanto non è assolutamente accettabile che il mezzo esaurisca l'energia all'interno del bunker.

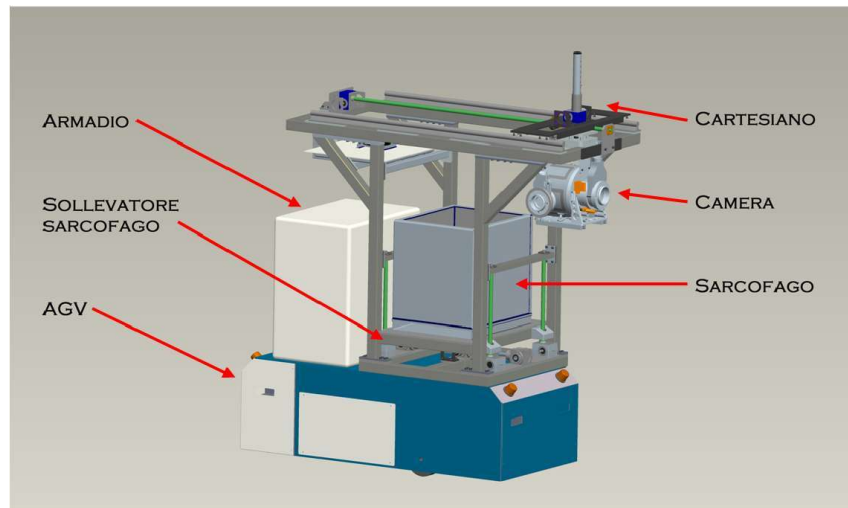


Fig. 1.36: Macchina orizzontale

Il sistema di movimentazione di camera e sarcofago

Il sistema di movimentazione di camera e sarcofago, denominato anche, impropriamente, cartesiano, permette di operare su camera e coperchio del sarcofago muovendoli lungo due assi ortogonali (figura 1.37)

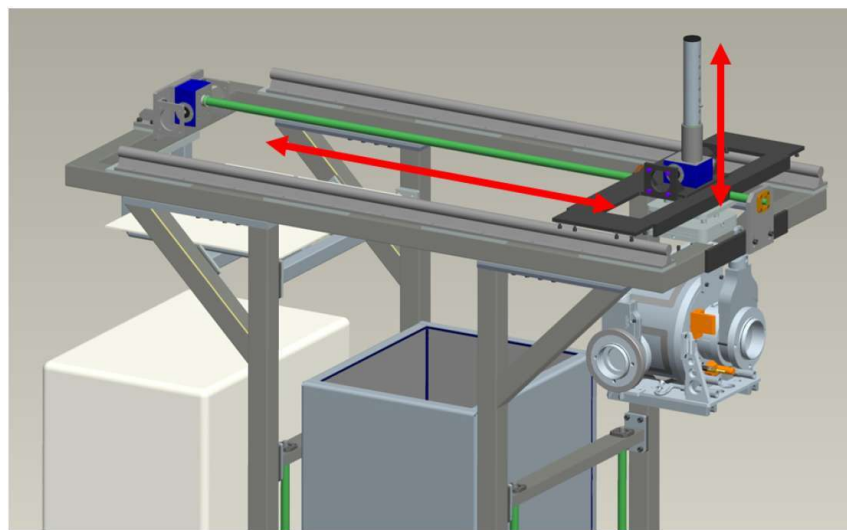


Fig. 1.37: Sistema di movimentazione

Lo spostamento viene eseguito grazie a due sistemi a martinetto e vite trapezia: in quello verticale si ha una vite traslante, in quello orizzontale una vite rotante con madrevite traslante. Il carico massimo durante il ciclo di lavoro è dovuto al peso del coperchio del sarcofago, pari a 100 kg. Ciascun sistema per il movimento può ricevere coppia da due motori i cui alberi sono collegati allo stesso martinetto, in modo da garantire una ridondanza in caso di malfunzionamenti.

Il sistema di movimentazione comprende anche un sollevatore del sarcofago, denominato anche elevatore. Esso è necessario in quanto la corsa del sistema che permette il movimento verticale della camera, quando è appesa al gancio Schunk, non è altrimenti sufficiente perché la sua base possa raggiungere il fondo del sarcofago. Non è possibile allungare la vite traslante per problemi di ingombro verticale: una vite troppo lunga non consentirebbe di rimanere nel bunker sollevando la camera dato che andrebbe a sbatte-

re sullo stipite della porta, alto solamente 2.5 m. Questo impone di muovere anche il sarcofago verticalmente per andare incontro alla camera quando è completamente abbassata lungo l'asse verticale. In questo modo la camera può toccare il fondo del sarcofago ed essere depositata dolcemente. L'appoggio delicato permettere un eventuale riutilizzo della camera che non sarebbe attuabile se la si facesse cadere senza avere la certezza del suo posizionamento, azione che causerebbe anche la rottura del target dovuta all'impatto violento.

La base di carico del sarcofago, realizzata con un piano rettangolare fissato agli angoli con quattro chiodi, può essere movimentata per mezzo di quattro martinetti a vite trapezia azionati da un motore elettrico che trasmette il moto ad un rinvio angolare collegato a due alberi, a loro volta duplicati da altri due rinvii angolari. In questo modo la rotazione delle viti fa muovere le quattro chiodi verticalmente (figura 1.38). Come per i due sistemi precedenti anche il sistema di sollevamento del sarcofago ha una ridondanza in quanto sono previsti due motori connessi al primo rinvio angolare.

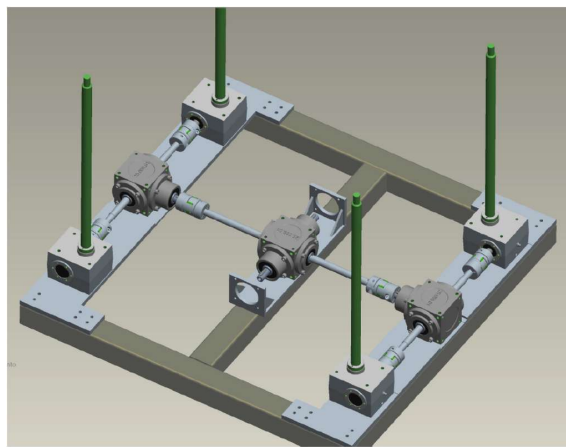


Fig. 1.38: Sistema di sollevamento del sarcofago

L'armadio dei controlli

L'armadio dei controlli è necessario per allestire a bordo dell'AGV l'apparecchiatura necessaria per azionare i meccanismi della macchina orizzontale. Al suo interno sono installati:

- il PLC per il controllo;
- gli azionamenti dei motori elettrici;
- il gruppo di alimentazione;
- il compressore d'aria e le elettrovalvole per il dispositivo Schunk.

Il PLC e gli azionamenti utilizzati sono forniti dall'azienda Schneider, per garantire piena compatibilità con gli altri sistemi di automazione precedentemente in uso nei laboratori. La caratteristica fondamentale di questo PLC è che dovrà essere ridondante al fine di poter portare a termine l'operazione di prelievo della camera anche in caso di rottura di una CPU. Questa è l'unica operazione che deve necessariamente essere portata a termine senza poter essere interrotta, dato che non sarebbe possibile intervenire in altro modo una volta agganciata la camera al cartesiano e sollevata. A quel punto deve necessariamente essere inserita nel sarcofago prima di poter uscire dal bunker con l'AGV, essendo altamente radioattiva e dipendente dalla sola macchina orizzontale (figura 1.39).

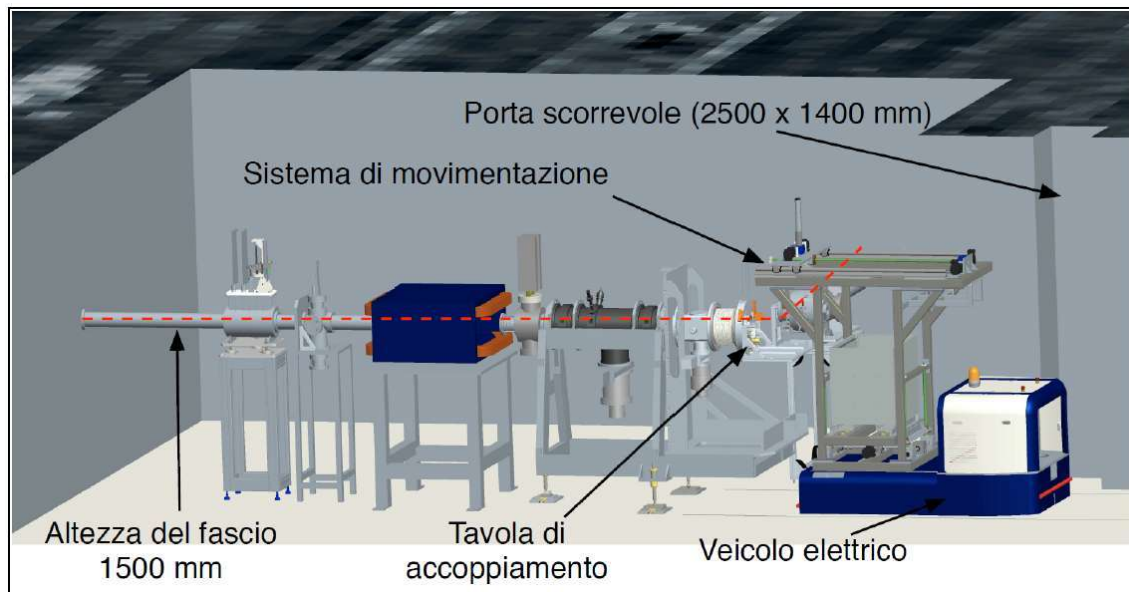


Fig. 1.39: Macchina orizzontale all'interno del bunker

Il gruppo di alimentazione deve fornire energia elettrica al fine di portare a termine tutte le operazioni di un ciclo di lavoro del sistema a bordo dell'AGV. Il dispositivo che gestisce l'alimentazione è un gruppo di continuità contenente batterie collegate in parallelo, in grado di erogare 230 V efficaci in tensione alternata. È dotato di un sistema di auto diagnosi che bypassa le eventuali batterie non funzionanti salvaguardando le altre.

Il compressore d'aria ha la funzione di fornire al sistema di aggancio Schunk l'aria compressa necessaria per tutte le operazioni di aggancio e sgancio della camera target e del coperchio del sarcofago. Il consumo d'aria da parte del pistone azionatore è molto scarso, quindi vi sarebbe la possibilità di installare solamente un serbatoio, ma con il compressore è garantita una certa sicurezza in caso di perdita da parte dell'impianto.

1.4.3 Il sistema di movimentazione verticale

Il sistema di movimentazione verticale è il secondo sistema progettato per il prelievo e il deposito della camera sulla tavola d'ammarraggio. La progettazione è ancora nella fase iniziale ed è stabilito che dovrà essere utilizzato in caso di emergenza o a seguito di problemi della macchina orizzontale. Consente di rimuovere la camera in modo molto rapido, dato che può prelevarla con un braccio meccanico in grado di scendere dal piano superiore dell'edificio permettendo di raccoglierla rapidamente per poi inserirla in un sarcofago stoccato temporaneamente sopra al bunker (figura 1.40). È progettato come un sistema di movimentazione cartesiano che può muoversi lungo tre assi (x, y, z): il carroponte (direzione x) permette di scorrere orizzontalmente all'interno della stanza che contiene il meccanismo, mentre la movimentazione laterale (direzione y) permette di inserire la camera nel sarcofago, che è posizionato su un lato del carroponte. Infine il braccio telescopico permette di scendere (direzione z) all'interno del bunker e prelevare la camera grazie al gancio Schunk.

Il bunker, nel piano interrato, è separato dal piano terra da una soletta di 3 metri di spessore, permettendo la completa schermatura dalle radiazioni; per l'accesso e l'estrazione della camera tramite il sistema verticale è necessario un varco tra il piano terra e il bunker che però è normalmente chiuso in modo da non vanificare l'effetto della soletta. Il tappo è un cilindro di cemento estraibile dello stesso spessore della soletta e l'apertura rimane scoperta il minor tempo possibile, solo per le operazioni di estrazione della camera.

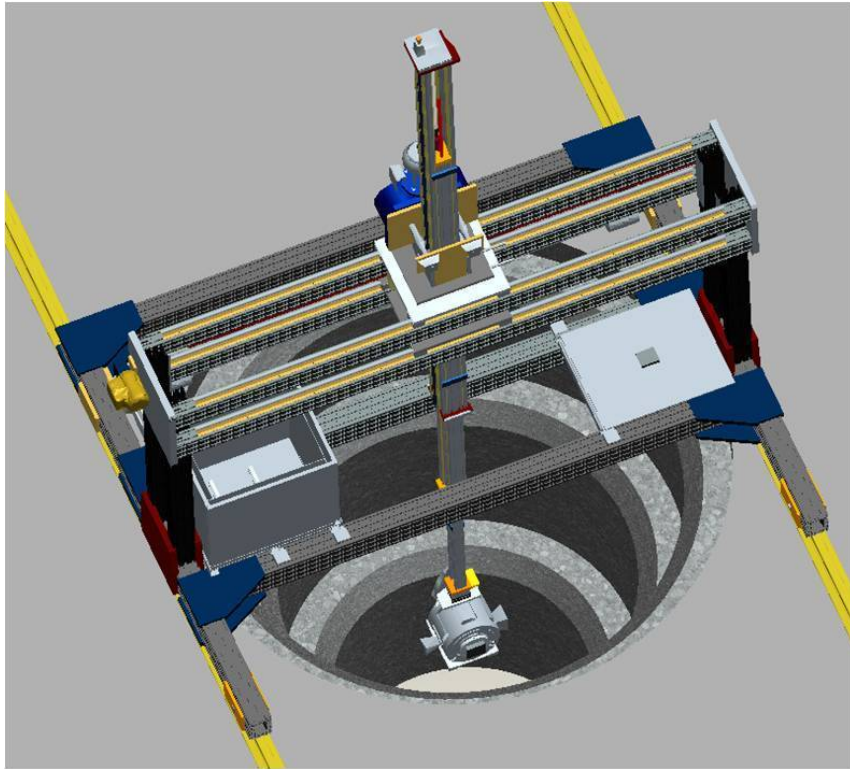


Fig. 1.40: Sistema di movimentazione verticale

1.4.4 La comunicazione tra i sistemi di controllo

I sistemi di movimentazione dovranno essere messi in comunicazione tra loro in modo da realizzare una rete per il trasferimento dei dati che permetta di controllare tutte le operazioni e gli stati delle apparecchiature, oltre a consentire un'azione di supervisione da remoto.

Per le operazioni di movimentazione della camera target saranno presenti tre PLC: quello del front end, quello dell'AGV e quello del deposito temporaneo. Comuniceranno tra di loro tramite bus Modbus TCP/IP. Modbus è il protocollo di comunicazione standard di Schneider, la variante TCP/IP permette la comunicazione attraverso rete ethernet. Inoltre i PLC saranno monitorati da un sistema di supervisione (figura 1.41).

La comunicazione tra gli azionamenti dell'AGV e del deposito temporaneo e i rispettivi PLC avverrà attraverso un bus CANopen.

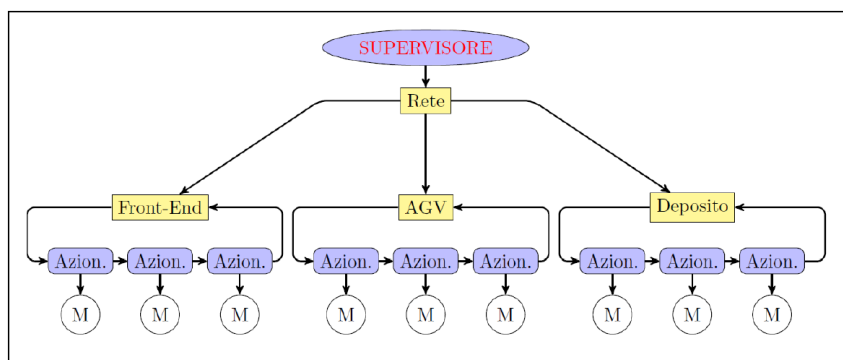


Fig. 1.41: Schema delle comunicazioni tra i dispositivi

1.5 Applicazioni dei fasci di ioni esotici

I fasci di ioni esotici hanno suscitato, nel corso degli anni, un crescente interesse dovuto alle loro molteplici applicazioni non solo nel campo della fisica nucleare ma anche in astrofisica, medicina e fisica dello stato solido.

1.5.1 Applicazioni in fisica nucleare

Miglioramento e verifica del Modello Standard

Il modello standard è una teoria che descrive complessivamente tre delle quattro forze fondamentali: l'interazione nucleare forte, l'elettromagnetismo e l'interazione nucleare debole, queste ultime due unificate nell'interazione elettrodebole. Questa teoria descrive inoltre le relazioni e le proprietà di tutte le particelle note ed osservate. Nonostante il suo successo, tale modello non è del tutto soddisfacente, poiché dipende in modo sostanziale da alcune assunzioni fatte ad-hoc.

Elaborati esperimenti di fisica nucleare, suggeriti da convincenti basi teoriche, sono stati ideati allo scopo di chiarire l'origine di queste assunzioni e pervenire all'unificazione delle interazioni fondamentali. Tali esperimenti prevedono accurate misure delle proprietà di decadimento di alcuni nuclei, che possono essere effettuate utilizzando come sorgente pura di ioni i fasci di ioni radioattivi prodotti dalle facilities.

Studio della struttura di nuclei complessi

I nucleoni (protoni e neutroni) sono costituiti da subparticelle chiamate quark, in particolare il protone è formato da due quark UP e un DOWN con carica totale di +1, mentre il neutrone è formato da due quark DOWN e un quark UP, che danno carica totale pari a zero. I quark esercitano un effetto fisico anche oltre i nucleoni dei quali fanno parte. Le interazioni tra i nucleoni all'interno del nucleo sono diverse da quelle esistenti tra due nucleoni liberi, in quanto esse dipendono anche dalla densità di protoni e neutroni associata al particolare tipo di nucleo. Al momento, non si conosce una relazione generale che consenta di quantificare l'entità delle interazioni nucleari per tutti i nuclei rappresentati nella figura 1.2, in quanto i calcoli quantomeccanici sono applicabili unicamente ai nuclei più leggeri; l'obiettivo della ricerca in fisica nucleare è di ottenere una trattazione unitaria che:

- permetta di carpire l'effettiva interazione tra le particelle nucleari;
- elimini le incongruenze dei modelli correnti;
- sia applicabile anche ai nuclei aventi rapporto tra protoni e neutroni estremo, ovvero i nuclei esotici.

A questo scopo i fasci di ioni radioattivi possono fornire un prezioso contributo

Misura della dimensione del nucleo

La dimensione del nucleo è legata al numero totale di nucleoni che lo costituiscono dalla semplice relazione

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (1.5.1)$$

dove R è il raggio nucleare, R_0 una costante pari a 1.2 fermi (1 fermi = 10^{-15} m). Tuttavia, allontanandosi dalla valle di stabilità, si possono incontrare notevoli deviazioni da tale legge, in quanto le energie di legame tra le particelle di uno stesso nucleo possono diventare così piccole da causare la formazione di nuclei particolari, chiamati "ad anello"

(”halo nuclei”). Tali nuclei furono scoperti attorno alla metà degli anni 80 nei laboratori di Berkeley (USA), durante alcuni esperimenti effettuati per misurare la probabilità di interazione, o sezione d’urto, di un fascio di isotopi di litio focalizzato su un opportuno target; tali esperimenti dimostrarono che l’isotopo ^{11}Li possedeva una sezione d’urto nettamente maggiore di quella degli altri isotopi, sia naturali (^6Li e ^7Li) che sintetizzati artificialmente (^8Li e ^9Li). Questa proprietà è stata spiegata ammettendo che le maggiori dimensioni del nucleo di ^{11}Li siano dovute alla particolare collocazione dei neutroni in esso presenti. Nello specifico il nucleo di questo isotopo, indicato con il termine ”halo”, è descritto come costituito da due neutroni ”di valenza” orbitanti attorno ad un nucleo di ^9Li (figura 1.42).

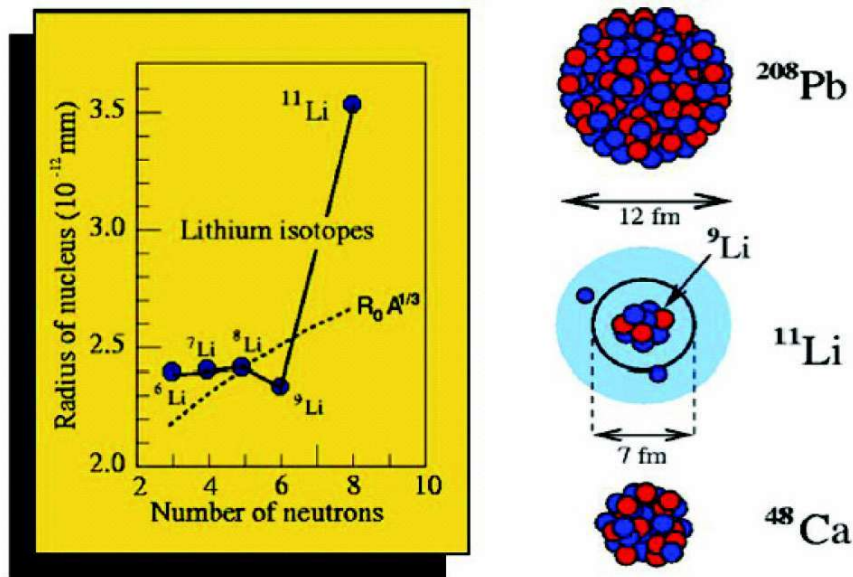


Fig. 1.42: Dimensione del nucleo di ^{11}Li

Il grafico in figura 1.42 a sinistra mostra l’andamento del raggio nucleare degli isotopi di litio in funzione del numero di neutroni presenti nel nucleo. È evidente il brusco aumento di dimensione del nucleo di ^{11}Li rispetto alle stime teoriche per nuclei stabili (linea tratteggiata) e rispetto alle dimensioni degli altri isotopi del litio.

Il confronto tra le dimensioni del nucleo di ^{11}Li e quelle di nuclei più pesanti (figura 1.42 a destra) mostra che, mentre l’”intero raggio” (dimensione media del core e dell’halo pesata per la massa, dove per core si intende il nucleo di ^9Li e per halo i due neutroni di valenza) del nucleo di ^{11}Li ha dimensioni paragonabili a quelle del ^{48}Ca , l’alone ”halo” (l’alone racchiuso dalle orbite dei due neutroni di valenza), che si estende al di fuori del suddetto raggio, ha dimensioni paragonabili a quelle del nucleo del ^{208}Pb .

Dopo il ^{11}Li sono stati scoperti molti altri nuclei ”halo”, tra i quali ^6He , ^{11}Be e ^{19}C : tutti hanno in comune le caratteristiche di possedere molti più neutroni dei rispettivi isotopi stabili e di avere uno o due neutroni debolmente legati al nucleo ed orbitanti esternamente ad esso.

Il nucleo di ^{11}Li è un sistema a tre corpi, i due neutroni ”esterni” ed il core, e rappresenta un esempio naturale di sistema Borromeo; in topologia, i tre anelli borromeici (figura 1.43) sono legati in modo tale che la rottura di uno permetta la separazione degli altri due.

I nuclei ad anello sono chiamati anche ”nuclei Borromeo” proprio perché se uno dei loro costituenti, il core oppure uno dei due neutroni di valenza, viene a mancare, gli altri due divengono immediatamente instabili e si possono a loro volta allontanare facilmente.



Fig. 1.43: Anelli borromeici

La spiegazione della stabilità dei nuclei "halo" è di natura quantomeccanica: la forza di attrazione tra due dei tre corpi non è abbastanza intensa da tenerli legati e solo le interazioni specifiche con la terza particella forniscono forza sufficiente a stabilizzare il sistema.

Attualmente, per la misura della distribuzione di protoni, sulla base di esperimenti di spettroscopia atomica, si usano fasci radioattivi a bassa energia e luce laser collineata; per la determinazione della distribuzione di tutti i nucleoni, vengono invece impiegati fasci radioattivi ad alta energia.

Produzione di elementi superpesanti

Gli elementi naturali sono circa 90: dall'idrogeno all'uranio; negli ultimi anni l'impiego di reazioni di fusione nucleare ha permesso la sintesi di nuovi elementi di elevato peso atomico, estendendo il numero dei costituenti della Tavola Periodica. In particolare questi nuovi elementi, chiamati superpesanti, nei quali si ha una fortissima repulsione coulombiana, sembra riescano a formarsi attorno alla cosiddetta "Isola di Stabilità", una combinazione di 114 protoni e 184 neutroni che sembra garantire la stabilità del nucleo.

La recente disponibilità di fasci intensi, costituiti da nuclei instabili ricchi di neutroni, accoppiati a target stabili, anch'essi ricchi di neutroni, potrebbe aprire definitivamente la strada ad uno studio e ad una indagine accurata di tale fenomeno.

1.5.2 Applicazioni in fisica dello stato solido

La tecnica "radio tracer diffusion", nata nel 1920, consiste nell'impiantare all'interno di un sistema solido dei nuclei radioattivi e di studiarne il decadimento, rilevando le particelle o la radiazione gamma da essi emessa. Tale tecnica permette di captare segnali anche da pochissimi atomi e rappresenta uno dei metodi più comuni per studiare i processi di diffusione atomica nei solidi.

Il sistema ospitante può essere drogato con i radioisotopi "sonda" per diffusione, tramite reazione nucleare, oppure per impianto ionico; la scelta dell'atomo radioattivo da utilizzare per un determinato esperimento viene fatta in base alla natura chimica e alle proprietà nucleari di quest'ultimo.

L'uso della tecnica "radio tracer diffusion" consente di:

- osservare, tramite i prodotti di decadimento, l'interazione tra l'atomo sonda e l'intorno reticolare che lo circonda;

- ottenere informazioni riguardanti il campo elettrico e magnetico all'interno del cristallo;
- studiare i processi diffusivi e le interazioni tra gli atomi sonda;
- indagare i tipi di difetti presenti nel cristallo.

Drogaggio dei semiconduttori

Lo sviluppo di chip di semiconduttori di piccole dimensioni aventi caratteristiche ottiche ed elettriche ottimali richiede un controllo completo dei difetti che governano tali proprietà, sia intrinseci, come le vacanze interstiziali, che estrinseci, come i droganti e le impurità atomiche. Per tale motivo sia la ricerca di base che quella applicata stanno concentrando notevoli sforzi nello studio dei difetti e dell'attivazione elettrica dei droganti in diversi semiconduttori.

Analogamente agli isotopi stabili, gli isotopi radioattivi influenzano le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori in base alla loro natura chimica ed alla loro posizione all'interno del reticolo cristallino: in particolare, poiché le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori dipendono oltre che dal tipo di semiconduttore anche dalle sue dimensioni, è stato dimostrato che in semiconduttori molto piccoli tali proprietà possono essere sensibilmente alterate da un difetto presente con concentrazione minore di 10^{12} atomi/cm³; per controllare in maniera affidabile le prestazioni dei semiconduttori sono quindi necessarie tecniche sperimentali che combinino un'alta sensibilità chimica con un'alta sensibilità per la determinazione di basse concentrazioni di difetti.

Per decenni la principale tecnica di rilevamento delle impurezze all'interno di un cristallo è stata il channeling: in tale tecnica un fascio di ioni (per esempio un fascio di ioni He^+ di molti MeV) viene guidato lungo le righe atomiche o lungo i piani del cristallo (canali); questo metodo tuttavia non permette di determinare concentrazioni di difetti inferiori a 10^{18} atomi/cm³. La risoluzione di tale tecnica può essere aumentata di diversi ordini di grandezza impiantando all'interno del cristallo impurezze radioattive che emettono particelle cariche (emission channeling): rilevare l'emissione di tali particelle lungo le direzioni cristallografiche principali della sostanza porta ad ottenere rese di emissione diverse rispetto a quelle misurate lungo una direzione cristallografica casuale.

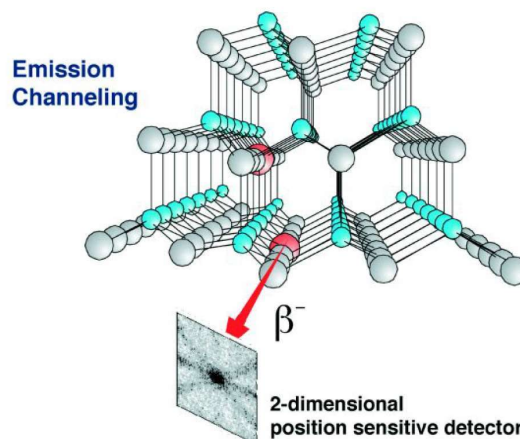


Fig. 1.44: Emission channeling

Nel caso in cui le particelle emesse siano elettroni, l'aumento della resa di emissione lungo una certa direzione cristallografica implica che gli atomi emettitori si trovano lungo la riga cristallina oppure in vicinanza di essa (figura 1.44); viceversa, l'assenza di un aumento

oppure una diminuzione di resa lungo un asse principale suggerisce che l'atomo emettitore occupa un sito interstiziale. La misura dell'emissione lungo differenti direzioni cristalline permette la determinazione del sito cristallografico dell'atomo emittente con un'incertezza di pochi decimi di Å.

Studio delle proprietà magnetiche di superfici e monostrati atomici metallici

Le superfici e le interfacce dei solidi costituiscono un campo di ricerca di notevole interesse in molte aree della fisica; in particolare vengono molto studiate le proprietà magnetiche degli strati metallici ultrasottili e le variazioni che queste possono subire passando da uno strato atomico all'altro.

La possibilità di utilizzare diversi atomi radioattivi "sonda" permette di testare sperimentalmente predizioni teoriche molto dettagliate. Nello studio della crescita epitassiale di strati di Palladio su una superficie di Nichel, sono stati piantati isotopi radioattivi di Pd o Cd a differenti distanze dall'interfaccia, per analizzare le proprietà magnetiche e strutturali del sistema (figura 1.45).

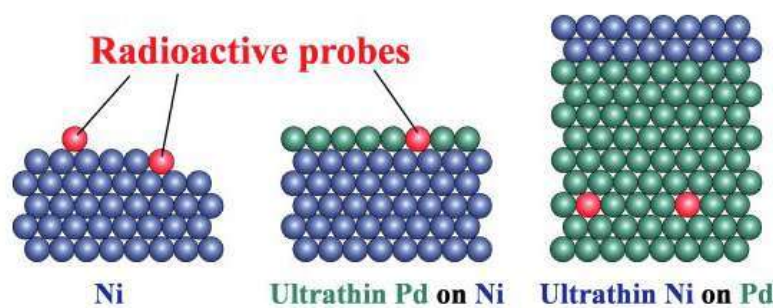


Fig. 1.45: Studio delle proprietà di *Ni* e *Pd* mediante l'utilizzo di atomi radioattivi "sonda"

In tale modo è stato possibile determinare, con una risoluzione strutturale mai raggiunta prima, il comportamento ferromagnetico di uno strato ultrasottile di Palladio cresciuto su Nichel (figura 1.45 al centro) e le proprietà magnetiche indotte sul Palladio da uno strato ultrasottile di Nichel (figura 1.45 a destra).

1.5.3 Applicazioni mediche: la Tomografia ad Emissione Positronica (PET)

La tomografia ad emissione di positroni (PET, Positron Emission Tomography) è una tecnica di medicina nucleare e diagnostica medica che produce immagini tridimensionali, o mappe, dei processi funzionali all'interno del corpo e che permette di rilevare molte delle principali forme tumorali allo stato iniziale della manifestazione.

Il positrone, detto anche antielettrone, è l'equivalente di antimateria dell'elettrone. Ha carica elettrica pari a +1, e spin 1/2, e la stessa massa dell'elettrone. Quando un positrone si annichila con un elettrone, la loro massa viene convertita in energia, sotto forma di due fotoni ad alta frequenza, nella banda dei raggi gamma. Un positrone può essere generato dal decadimento radioattivo con emissione di positroni, o dall'interazione con la materia di fotoni con energia superiore a 1.022 MeV.

La procedura PET inizia con l'iniezione, generalmente per via endovenosa, nel soggetto da esaminare, di un isotopo tracciante di breve vita media, legato chimicamente ad una molecola attiva a livello metabolico. Dopo un tempo di attesa durante il quale la molecola metabolicamente attiva, spesso uno zucchero, raggiunge una determinata concentrazione all'interno dei tessuti organici da analizzare, il soggetto viene posizionato nello scanner.

L'isotopo di breve vita media decade, emettendo un positrone. Dopo un percorso che può raggiungere al massimo pochi millimetri, il positrone si annichila con un elettrone, producendo una coppia di fotoni, di energia paragonabile a quella dei raggi gamma, emessi in direzioni opposte fra loro lungo una stessa retta, ovvero con un angolo di 180° tra esse; questi fotoni vengono rilevati dal dispositivo di scansione anche grazie all'impiego di speciali tubi fotomoltiplicatori. Aspetto cruciale della tecnica è il rilevamento simultaneo di coppie di fotoni: i fotoni che non raggiungono il rivelatore in coppia, cioè entro un intervallo di tempo di pochi nanosecondi, non sono presi in considerazione. Dalla misurazione della posizione in cui i fotoni colpiscono il rivelatore, dato che ogni coppia di fotoni individua una retta, si può ricostruire la posizione del corpo da cui sono stati emessi (figura 1.46): teoricamente con due coppie di fotoni, e dunque con due rette, è possibile individuare il punto di emissione, permettendo la determinazione dell'attività o dell'utilizzo chimico della molecola metabolicamente attiva all'interno delle parti del corpo investigate.

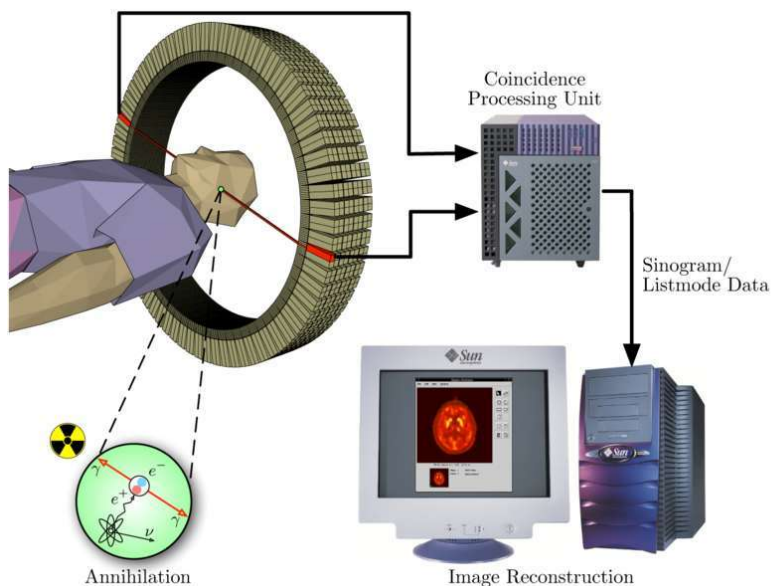


Fig. 1.46: Schema riassuntivo della tecnica di analisi PET

Lo scanner utilizza il rilevamento delle coppie di fotoni per mappare la densità dell'isotopo nel corpo; la mappa risultante rappresenta i tessuti in cui la molecola campione si è maggiormente concentrata e viene letta e interpretata da uno specialista in medicina nucleare o in radiologia al fine di determinare una diagnosi ed il conseguente trattamento. Spesso, e sempre più frequentemente, le scansioni della Tomografia ad Emissione di Positroni sono raffrontate con le scansioni a Risonanza Magnetica Nucleare, fornendo informazioni sia anatomiche e morfologiche, sia metaboliche; in sostanza, su come il tessuto o l'organo siano conformati e su cosa stiano facendo.

La PET (figura 1.47) è usata estensivamente in oncologia clinica, per avere rappresentazioni dei tumori e per la ricerca di metastasi, e nelle ricerche cardiologiche e neurologiche.

Ad ogni modo, mentre gli altri metodi di scansione, come la TAC e la RMN permettono di identificare alterazioni organiche e anatomiche nel corpo umano, le scansioni PET sono in grado di rilevare alterazioni a livello biologico molecolare che spesso precedono l'alterazione anatomica, attraverso l'uso di marcatori molecolari che presentano un diverso ritmo di assorbimento a seconda del tessuto interessato.

Con una scansione PET è possibile visualizzare e quantificare con discreta precisione la variazione di afflusso sanguigno nelle varie strutture anatomiche, attraverso la misurazione della concentrazione dell'emettitore di positroni iniettato. I radionuclidi utilizzati nella

scansione PET sono generalmente isotopi con breve tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~ 20 min), ^{13}N (~ 10 min), ^{15}O (~ 2 min) e ^{18}F (~ 110 min). Per via del loro basso tempo di dimezzamento, i radioisotopi devono essere prodotti da un ciclotrone posizionato in prossimità dello scansionatore PET.

La PET gioca un ruolo sempre maggiore nella verifica della risposta alla terapia, specialmente in particolari terapie anticancro; si prospettano dunque per essa applicazioni e sviluppi sempre maggiori.



Fig. 1.47: Scanner utilizzato nella procedura PET

1.5.4 Applicazioni in astrofisica

L'astrofisica nucleare gioca un ruolo fondamentale nella comprensione della struttura, evoluzione e composizione dell'universo e dei suoi costituenti.

Le stelle generano energia attraverso reazioni nucleari che coinvolgono sia nuclei stabili che radioattivi. A volte, il consumo del carburante nucleare procede stabilmente e dura miliardi di anni, altre volte è esplosivo e dura pochi minuti o pochi secondi. Nelle differenti fasi della consumazione delle stelle vengono sintetizzati nuovi elementi chimici, sia tramite processi di nucleosintesi che seguono strettamente la valle di stabilità, sia attraverso processi che si svolgono in un ambito sconosciuto.

Per sviluppare un modello che descriva il meccanismo di nucleosintesi, è necessario misurare le rese delle reazioni nucleari relative ai principali cicli astrofisici e le caratteristiche di decadimento di molti nuclei tuttora sconosciuti. Queste essenziali informazioni includono i tempi di vita, le masse ed i principali canali di decadimento di un numero di nuclei chiave lontani dalla stabilità. Le reazioni nucleari che coinvolgono nuclei instabili possono essere misurate unicamente con un fascio radioattivo: per tale motivo si prevede che la nuova generazione di facilities per la produzione di fasci radioattivi risulterà di fondamentale importanza per la comprensione della sintesi elementare nell'universo.

1.6 Conclusioni

In questo capitolo è stato presentato il progetto SPES nel suo complesso. Il suo obiettivo è la produzione di fasci di ioni esotici, i quali hanno molte applicazioni in diversi campi. È stata illustrata l'infrastruttura che permetterà di raggiungere tale obiettivo e il metodo di produzione che sarà utilizzato, per il quale la camera target contenente il bersaglio

risulta essere un componente fondamentale. Sono state spiegate inoltre le applicazioni della produzione dei fasci radioattivi.

Di particolare interesse sono le soluzioni adottate per la movimentazione della camera target quando questa deve essere sostituita. Questo lavoro di tesi si colloca nell'ambito dello sviluppo dei sistemi che saranno utilizzati per eseguire tali operazioni, in particolare saranno illustrati la messa in servizio e la configurazione dell'apparato di controllo del sistema di movimentazione denominato cartesiano.

Il sistema di movimentazione di camera target e sarcofago

2.1 Introduzione

Il sistema di movimentazione di camera target e sarcofago, denominato cartesiano, è stato progettato per permettere di prelevare la camera target che deve essere sostituita dal front end e riporla nel sarcofago, senza l'intervento umano. Allo stesso modo esso permette di eseguire l'operazione opposta con la camera target nuova. Potrà essere utilizzato inoltre per altre finalità.

In questo capitolo saranno prima presentate brevemente le operazioni per cui sarà realizzata la macchina orizzontale, nelle quali il cartesiano viene utilizzato, poi verrà illustrata la sua struttura meccanica e le apparecchiature elettriche ed elettroniche che permettono il suo funzionamento e ne garantiscono il controllo.

2.2 Operazioni del sistema di movimentazione orizzontale

Come illustrato il sistema di movimentazione orizzontale (figura 2.1.a) ha principalmente due funzioni: la prima è prelevare la camera target dal front end, dopo il suo periodo di utilizzo, e riporla nel sarcofago per poi trasportare il tutto fino al deposito temporaneo in modo che il sistema di movimentazione di quest'ultimo possa procedere allo stoccaggio; la seconda è ricevere il sarcofago contenente la nuova camera target da un carrello elevatore, trasportarlo all'interno della camera calda, estrarre la camera target e depositarla sul front end.

La macchina orizzontale avrà inoltre un altro compito. L'elettrodo estrattore, o puller, necessita anch'esso di essere sostituito ad intervalli regolari, anche se più lunghi di quelli della camera target; per fare ciò è in fase di realizzazione uno strumento in grado di afferrare il puller, estrarlo e riporlo in un apposito contenitore per poi procedere all'inserimento di un puller nuovo. Tale strumento sarà trasportato, alimentato e movimentato durante lo svolgimento delle sue operazioni dalla macchina orizzontale.

Durante le procedure di deposito e prelievo della camera target la macchina orizzontale deve eseguire una serie di operazioni. Nella procedura di prelievo, all'inizio sul pianale dell'elevatore della macchina orizzontale è presente il sarcofago vuoto e le operazioni da effettuare sono:

1. La macchina orizzontale si posiziona davanti alla porta tra la zona fredda e la camera tiepida e ne attende l'apertura.
2. Entra e attende la chiusura della porta tra zona fredda e camera tiepida.
3. Se il coperchio è sul sarcofago lo toglie, e attende l'apertura della porta tra camera tiepida e camera calda.
4. Entra nella camera calda e si posiziona davanti al front end.
5. Aggancia la camera target, la preleva (figura 2.1.b), la inserisce nel sarcofago e mette il coperchio.



(a) Scarica



(b) Durante il prelievo della camera target

Fig. 2.1: Macchina orizzontale

6. Esce dalla camera calda, attende la chiusura della porta tra camera tiepida e camera calda e poi l'apertura della porta tra zona fredda e camera tiepida.
7. Esce dalla camera tiepida e si reca davanti alla porta del deposito temporaneo.
8. Si dispone per il prelievo del sarcofago da parte del sistema di movimentazione del deposito temporaneo.
9. La porta del deposito temporaneo si apre e il suo sistema di movimentazione preleva il sarcofago dalla macchina orizzontale che attende il completamento di tale operazione.
10. La macchina orizzontale si reca nella posizione di parcheggio nella zona fredda.

Nella procedura di deposito, la macchina orizzontale all'inizio è scarica e le operazioni da effettuare sono:

1. Un operatore, utilizzando un carrello elevatore, posiziona il sarcofago chiuso contenente la nuova camera target sul pianale dell'elevatore della macchina orizzontale e si allontana.
2. La macchina orizzontale si posiziona davanti alla porta tra la zona fredda e la camera tiepida e ne attende l'apertura.
3. Entra, attende la chiusura della porta tra zona fredda e camera tiepida e poi l'apertura della porta tra camera tiepida e camera calda
4. Entra nella camera calda e si posiziona davanti al front end.
5. Toglie il coperchio al sarcofago, aggancia la camera target e la deposita sul front end.
6. Esce dalla camera calda, attende la chiusura della porta tra camera tiepida e camera calda e poi l'apertura della porta tra zona fredda e camera tiepida.
7. Esce dalla camera tiepida e si reca nella posizione di parcheggio nella zona fredda.

Le operazioni che prevedono il movimento della camera target o del coperchio del sarcofago sono effettuate dal sistema di movimentazione chiamato, impropriamente, cartesiano. I motori del cartesiano sono alimentati e controllati dagli azionamenti montati all'interno dell'armadio dei controlli che contiene anche il compressore, le elettrovalvole che permettono di azionare il gancio Schunk e il PLC che controlla il tutto (figura 2.2).

2.3 Il cartesiano

Il cartesiano (figura 2.3) è il sistema di movimentazione che permette di muovere verticalmente e longitudinalmente la camera target e il coperchio del sarcofago quando agganciati mediante il gancio Schunk. Esso permette inoltre di sollevare e abbassare il sarcofago. Il sistema consente quindi il movimento lungo due assi verticali e uno orizzontale. Tali movimenti sono attuati grazie a tre motori sincroni a magneti permanenti.

2.3.1 La base di appoggio

La base di appoggio del cartesiano è la parte che viene fissata all'AGV e che deve sostenere il sistema di movimentazione e il sarcofago (figura 2.4). Per la sua costruzione sono utilizzati dei profili cavi in acciaio, facilmente saldabili. Il profilo utilizzato è un profilo cavo formato a freddo di dimensioni 60 mm x 60 mm con spessore di 3 mm, in acciaio non



Fig. 2.2: Cartesiano e armadio dei controlli

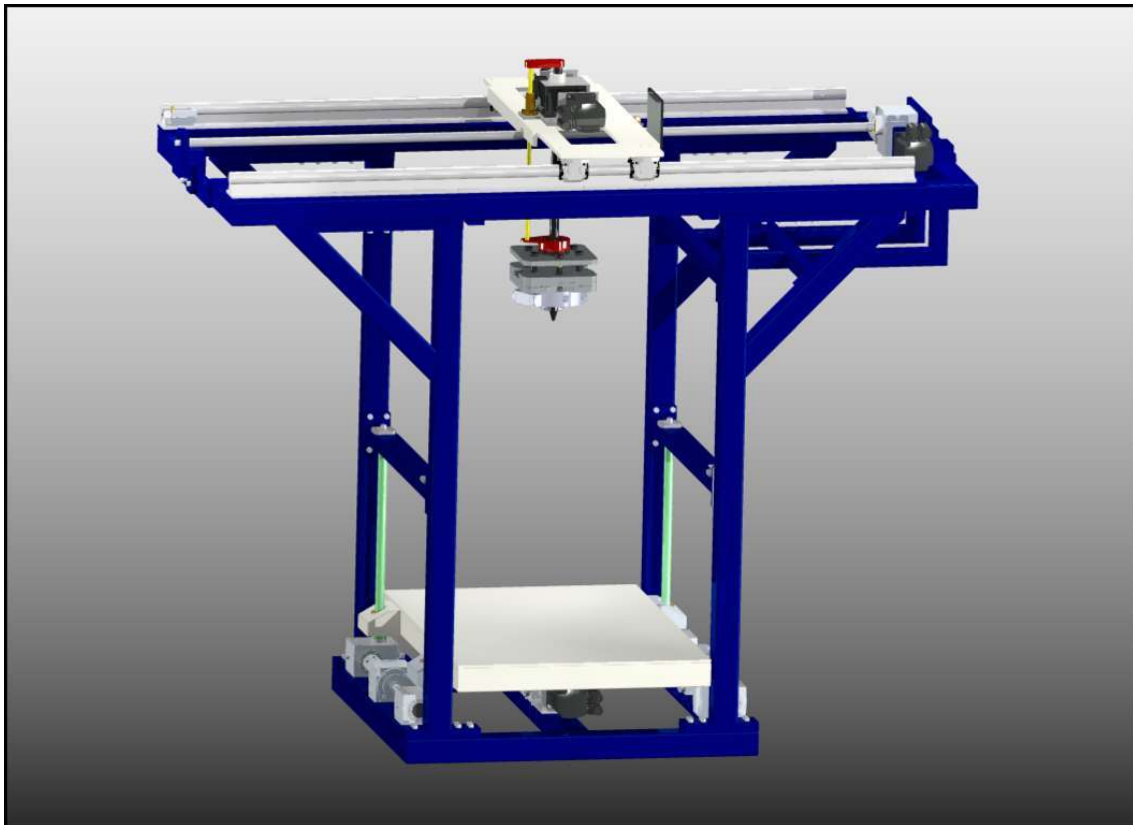


Fig. 2.3: Cartesiano

legato con designazione S355J2R, totalmente calmato e di qualità, normalmente utilizzato per strutture saldate e bullonate. Il profilo è raccordato agli spigoli, sia esternamente che internamente, e viene garantita una tolleranza sullo spessore e sulle dimensioni inferiore all'1% della dimensione nominale. I profili sono opportunamente tagliati con un angolo di 45° e saldati. Su questa struttura sono installate, mediante saldatura, due piastre su cui sono fissati i martinetti meccanici per alzare la piattaforma su cui poggia il sarcofago e una piastra per il fissaggio dei motori.

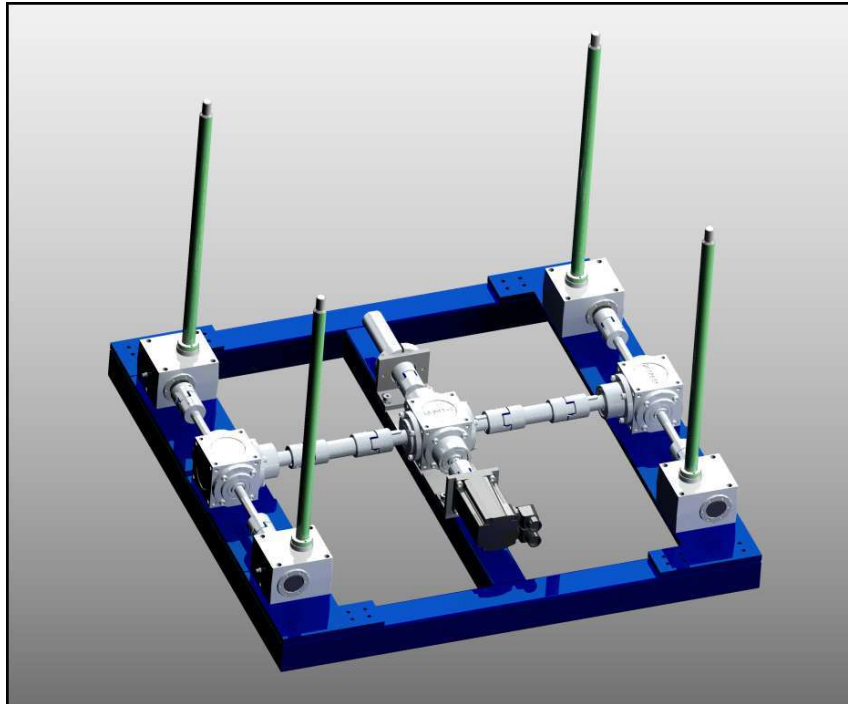


Fig. 2.4: Base di appoggio

Il sistema di sollevamento del sarcofago è composto da quattro martinetti meccanici a vite trapezia, tre rinvii angolari e un motore elettrico. L'intero sistema è in grado di sollevare il peso del sarcofago con dentro la camera e la piattaforma sulla quale viene depositato; la massa complessiva da muovere è di circa 900 kg. Perché il sistema di sollevamento sia affidabile e consenta di garantire una movimentazione precisa, sono utilizzati dei martinetti meccanici a vite trapezia (figura 2.5), essendo molto affidabili e in grado di sollevare carichi importanti. Inoltre l'utilizzo di viti trapezoidali nel martinetto meccanico fornisce una condizione di irreversibilità del moto, situazione che si verifica quando il valore del rendimento nel moto diretto è inferiore ad una certa soglia (circa 0.4), cosa che impedisce al carico di muoversi se non viene applicata coppia dal motore. I martinetti sono prodotti dalla ditta Servomech, viene montata la vite Tr 22x5, avente passo $p_1 = 5 \text{ mm}$, sul martinetto SJ10 che ha rapporto di riduzione $\tau_{13} = 1/4$.

Viene utilizzata una configurazione ad H (figura 2.6), che prevede di installare quattro martinetti meccanici "ai vertici di un quadrato" e il motore al centro.

I martinetti meccanici sono tutti e quattro uguali dal punto di vista delle prestazioni, ma geometricamente sono uguali a due a due, infatti ne vengono utilizzati due con albero di entrata a destra, e due con albero di entrata a sinistra, questo per avere il verso di rotazione degli alberi di collegamento uguali (figura 2.7). I quattro martinetti sono divisi in due coppie, ogni coppia è composta da due martinetti con diversa configurazione dell'albero di entrata, ai quali viene trasmesso il moto dallo stesso rinvio angolare.

I rinvii angolari sono anch'essi prodotti dalla ditta Servomech. A ognuna delle due coppie di martinetti è collegato un rinvio di modello BG 86 con rapporto di riduzione

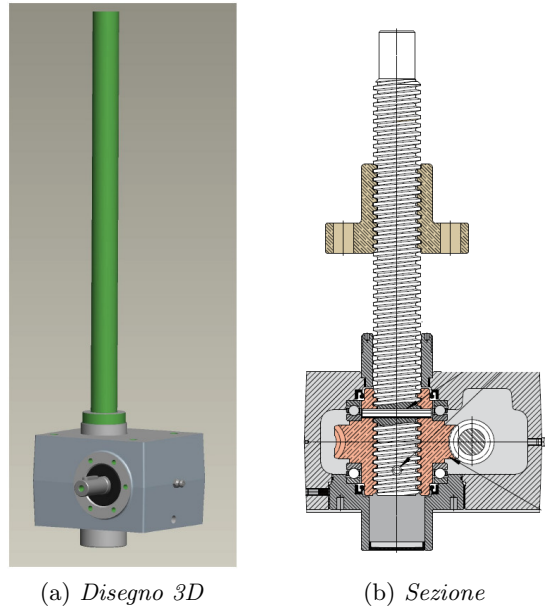


Fig. 2.5: Martinetto meccanico

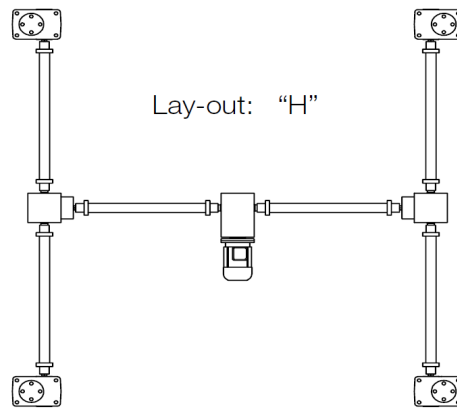


Fig. 2.6: Configurazione ad H

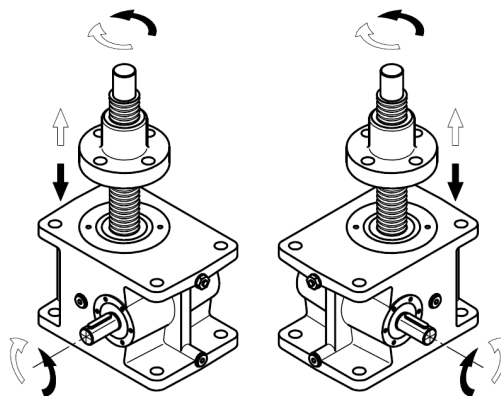


Fig. 2.7: Verso di rotazione dei martinetti meccanici

$\tau_{12} = 1/2$, configurazione a doppia uscita con albero cavo e albero di entrata sporgente con diametro standard. Il rinvio di collegamento tra i due connessi ai martinetti è anch'esso di modello BG 86 ma con rapporto di riduzione $\tau_{11} = 1/4$; esso ha una configurazione particolare in quanto è dotato di un albero di entrata supplementare, al quale è collegato un secondo motore utilizzato in caso di guasto del motore principale. Tutti i rinvii angolari hanno rendimento dichiarato dal costruttore pari a 0.97.

Nei rinvii di collegamento tra gli alberi dei martinetti, è utilizzata una configurazione di schema 20 per quello di sinistra e una di schema 10 per quello di destra visibili in figura 2.8.a. Il rinvio per l'accoppiamento al motore è invece con albero di entrata supplementare sul lato D, e schema 1.10 visibile in figura 2.8.b. In figura 2.9 è visibile lo schema in cui vengono illustrati i versi di rotazione degli alberi nel sistema complessivo.

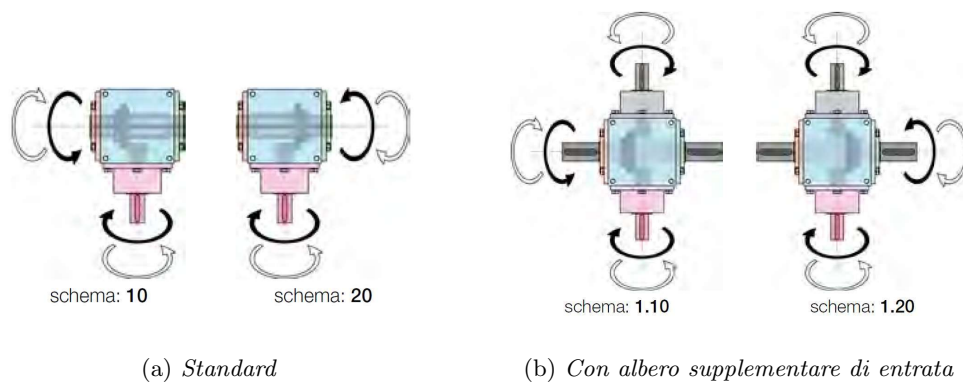


Fig. 2.8: Verso di rotazione degli alberi dei rinvii angolari

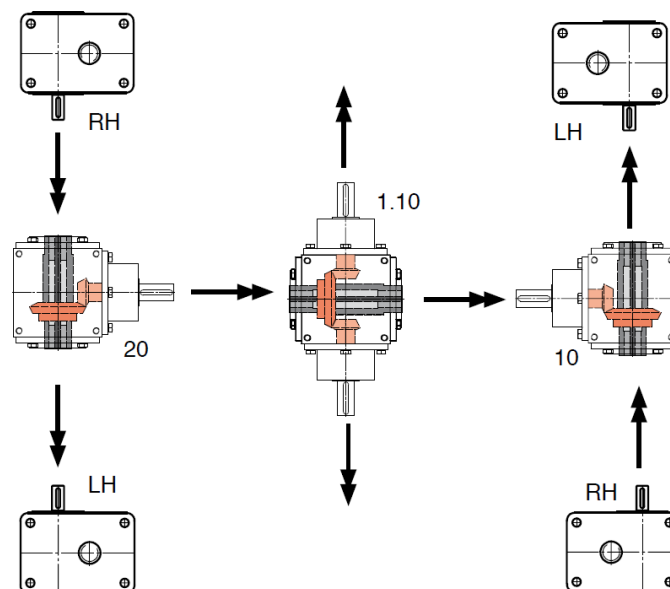


Fig. 2.9: Versi di rotazione degli alberi del sistema

Per il collegamento tra gli alberi sporgenti sono utilizzati dei giunti ROTEX GS (figura 2.10), della ditta KTR, che sono dei giunti elastici in tre parti, precaricati, senza gioco. Essi sono indicati per i collegamenti in applicazioni critiche, in cui si vuole garantire la

trasmissione della coppia con la possibilità di ridurre le vibrazioni; infatti, al centro del giunto, è presente una stella dentata in materiale plastico.

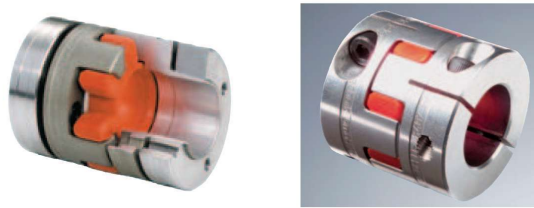


Fig. 2.10: Giunto ROTEX GS

2.3.2 Il pianale di carico

Il pianale di carico (figura 2.11) è la parte della struttura su cui viene posato il sarcofago. È molto solido in quanto deve sostenerne il peso ed è in grado di sollevarsi in modo uniforme senza inclinarsi.

Il telaio è formato da profili tubolari cavi 60 x 60 mm con spessore di 3 mm, come la base di appoggio, tagliati e saldati. Su di esso è saldata una piastra con medesime larghezza e lunghezza. Ai lati più lunghi del telaio sono installati dei componenti ai quali sono fissate le quattro chiocciole in ottone avvitate alle viti dei martinetti del sistema di sollevamento del sarcofago. Sulla piastra, sulla quale viene posato il sarcofago, saranno fissati degli inviti per garantire il corretto posizionamento di quest'ultimo.

Il sistema di sollevamento del sarcofago viene chiamato anche, più brevemente, elevatore.

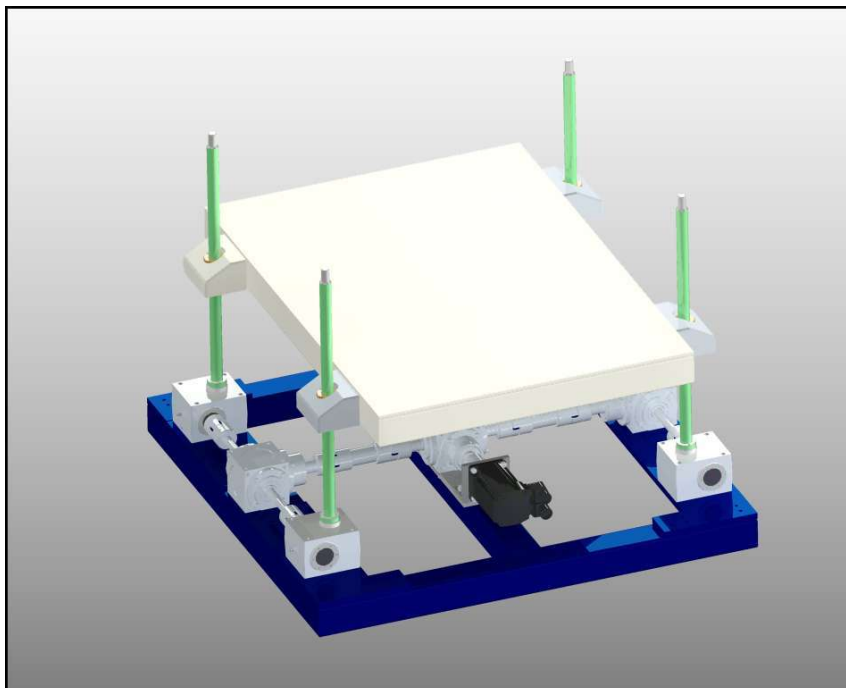


Fig. 2.11: Pianale di carico

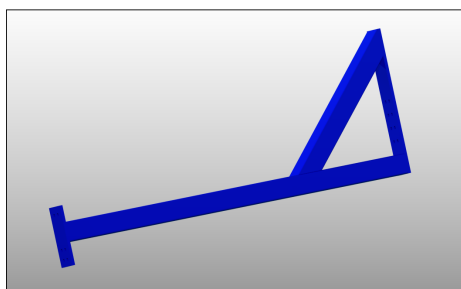
2.3.3 La struttura portante della piattaforma superiore

La struttura portante (figura 2.12) su cui è fissata la piattaforma superiore è installata sul telaio di base. Le singole travi di cui è composta (figura 2.13.a) sono imbullonate alla struttura inferiore e superiore per mezzo di bulloni M8, ognuna di esse è formata da due profili tubolari saldati e da due piastre, forate e filettate, che permettono il collegamento. I profili sono, come per la base di appoggio, tubolari cavi 60 x 60 mm, uno dritto, l'altro più corto tagliato a 45° e saldato. Le piastre sono anch'esse saldate ai tubolari. Sulle travi, sono inoltre saldate altre piastre forate e filettate, che servono al fissaggio di alcuni elementi di sostegno descritti successivamente.

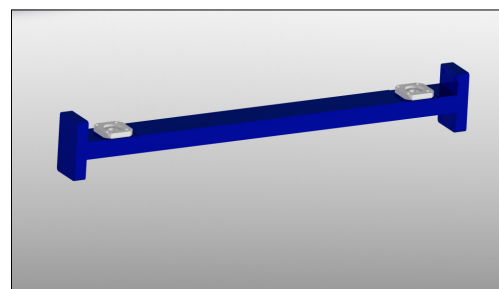


Fig. 2.12: Struttura portante verticale

Per mantenere le viti del sistema di sollevamento in posizione e impedirne l'oscillazione sono presenti due guide. Esse sono situate su un profilo a "C" standard, dotato di due fori per il fissaggio di cuscinetti supportati della THK (figura 2.13.b); alle estremità del profilo sono saldate delle piastre che permettono la bullonatura alle travi di sostegno.



(a) Trave



(b) Supporto per le viti

Fig. 2.13: Componenti della struttura

2.3.4 La piattaforma superiore

La piattaforma superiore è un telaio rettangolare sul quale sono montati dei binari per permettere ad un carrello di scorrere (figura 2.14).

Essa è fissata alle travi verticali mediante dei bulloni M8, avvitati sulle piastre di sostegno. Il telaio è formato da dei profili quadrati 60 x 60 mm, come il resto della struttura, tagliati con un angolo di 45° e saldati tra loro e con una piastra a formare un unico corpo rettangolare. Sulla parte superiore della struttura sono presenti due rotaie sulle quali è installato il carrello. Le rotaie sono fissate mediante dei collegamenti bullonati al telaio, per permettere i quali, sullo stesso sono saldate delle piastre di adeguato spessore, in quanto quello del solo profilo tubolare (3 mm) non è sufficiente per garantire la tenuta del filetto.

Dal momento che il telaio deve essere fissato alle travi verticali, anche in questo caso mediante bullonatura, per lo stesso motivo sono saldate delle piastre anche nella parte inferiore.

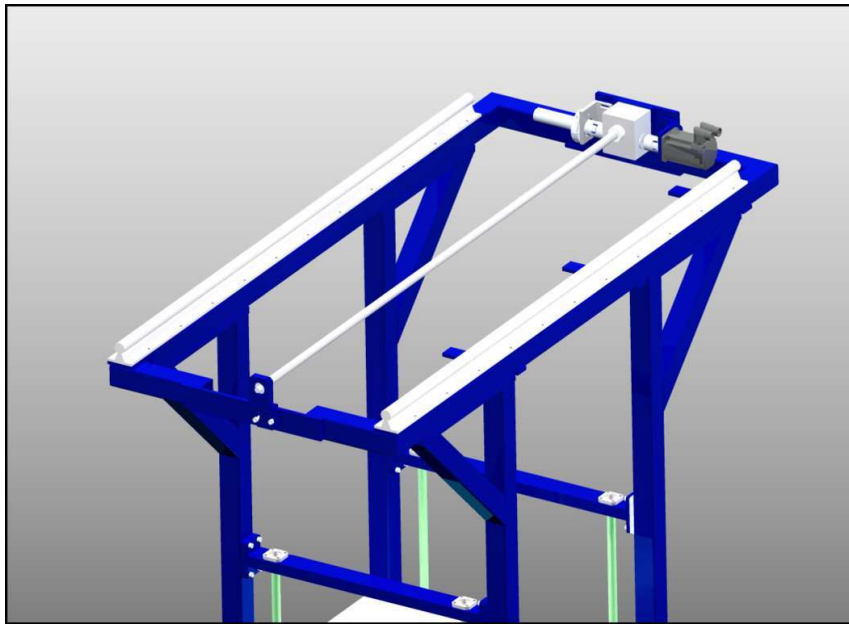


Fig. 2.14: Telaio con la piattaforma superiore

Al telaio rettangolare sono imbullonati altri due componenti: il supporto del martinetto e dei motori e la guida per la vite. Infatti per movimentare il carrello viene utilizzato un martinetto meccanico a vite trapezia, installato orizzontalmente, calettato ad un motore elettrico e ad un altro motore usato in caso di guasto del primo. Il martinetto meccanico è prodotto, come gli altri, dalla ditta Servomech, è un modello SJ10 con rapporto di riduzione $\tau_2 = 1/16$, la vite installata è una vite Tr 22x5, avente passo $p_2 = 5 \text{ mm}$. La guida per la vite è realizzata con un supporto BF12 della THK che ha la funzione di mantenerla in posizione. Esso resiste a sollecitazioni radiali, ma non sopporta forze assiali.

2.3.5 La struttura di sostegno del coperchio

Durante le fasi di movimentazione è necessario aprire il coperchio del sarcofago e depositarlo a bordo del veicolo. Per questo motivo il cartesiano è dotato di un telaio imbullonato alla struttura principale mediante bulloni M8, avente la funzione di sostenere il coperchio (figura 2.15). Questa struttura sospesa è composta da profili cavi a sezione quadrata, di dimensione 40 x 40 mm, leggermente più piccoli rispetto a quelli del telaio portante. I profili sono tagliati e saldati in modo da realizzare la struttura. Nelle parti terminali dei profili è saldata una piastra che permette il collegamento al resto della struttura con i bulloni.

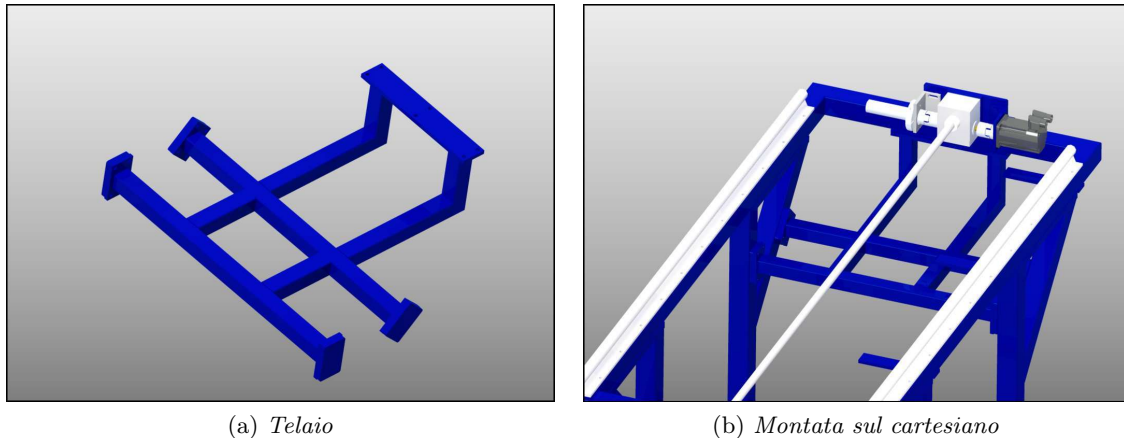


Fig. 2.15: Struttura di sostegno del coperchio

2.3.6 Il carrello

Il carrello (figura 2.16) è la parte della macchina che esegue le operazioni di movimentazione lungo l'asse longitudinale, esso è installato sul telaio superiore e ha la funzione di spostare il coperchio del sarcofago e la camera target orizzontalmente. Il carrello è dotato di cuscinetti lineari posizionati lungo le rotaie, che gli permettono di scorrere su queste ultime, ed è imbullonato alla madrevite avvitata sulla vite del martinetto posizionato orizzontalmente.

Il carrello è formato da una piastra in acciaio di spessore 10 mm, sulla quale sono installati diversi dispositivi:

- un martinetto meccanico a vite trapezia traslante
- un motore elettrico e un motore di riserva
- una chiocciola in ottone
- quattro cuscinetti a ricircolo di sfere per carichi pesanti.

Il martinetto meccanico montato sul carrello è costruito in modo diverso rispetto a quelli illustrati finora, esso infatti è dotato di un sistema a vite traslante (figura 2.17), non a vite rotante. Gli altri martinetti hanno la vite solidale alla corona del riduttore e quindi costretta a ruotare con essa, il movimento lineare è effettuato dalla madrevite in bronzo avvitata sulla vite. Il martinetto a vite traslante ha invece la madrevite in bronzo integrata nella corona del riduttore, in questo caso la vite trapezia, a cui è impedita la rotazione, si muove linearmente. Il martinetto utilizzato è un modello SJ10 della ditta Servomech avente rapporto di riduzione $\tau_3 = 1/24$ con montata una vite Tr 22x5, avente passo $p_3 = 5 \text{ mm}$.

Il martinetto meccanico con vite traslante è utilizzato per muovere verticalmente la camera target e il coperchio del sarcofago.

Il sistema che permette tali movimenti verticali viene chiamato gru.

Dato che il carrello si deve muovere, i cavi e i tubi connessi ai dispositivi da esso sostenuti sono stati fatti passare attraverso un'apposita catena portacavi (figura 2.18) la quale ha un estremo fissato al carrello e l'altro al telaio del cartesiano.

2.3.7 Il modulo compensatore

Il modulo compensatore, montato all'estremità inferiore della vite traslante adibita al movimento verticale, è un'unità avente lo scopo di compensare eventuali errori di posizionamento della camera, o del coperchio, durante la fase di aggancio.

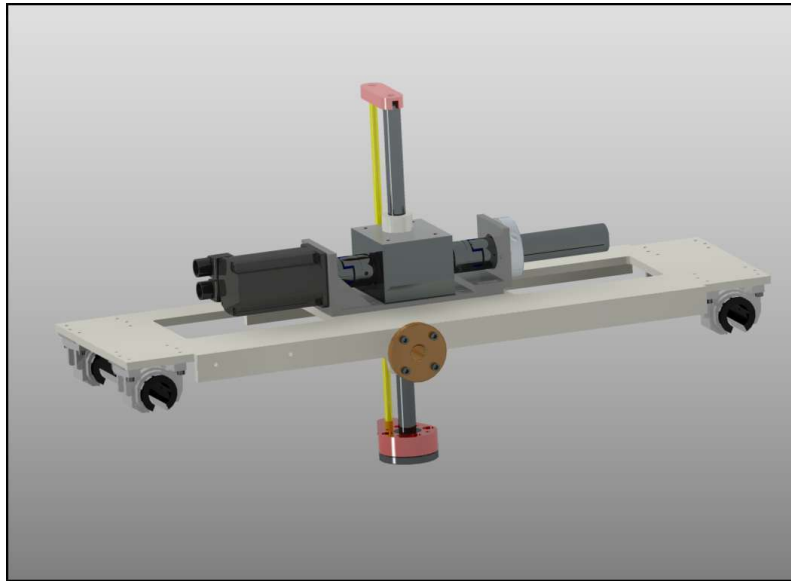
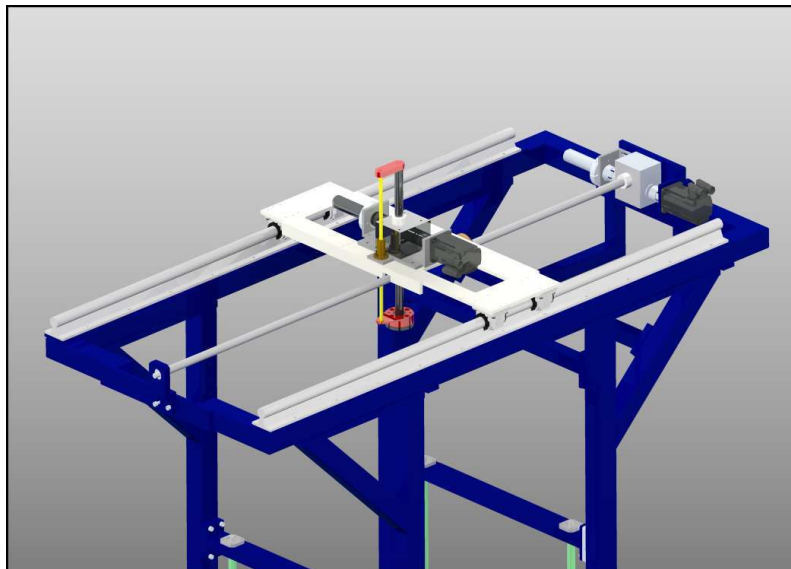
(a) *Struttura*(b) *Montato sul cartesiano*

Fig. 2.16: Carrello

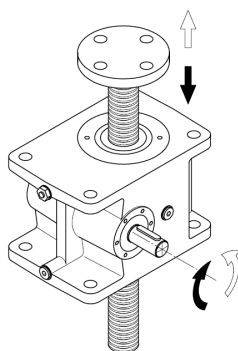


Fig. 2.17: Martinetto meccanico con vite traslante



Fig. 2.18: Catena portacavi

La struttura è formata da tre piastre di acciaio inox sulle quali sono installate delle mini guide lineari (figura 2.19.a) che permettono il movimento relativo di una piastra rispetto all'altra. Questo sistema permette uno spostamento nel piano di circa 7 mm nelle due direzioni parallele ai lati delle piastre e una compensazione di 12 mm lungo l'asse verticale (figura 2.19.b). Per la compensazione lungo l'asse verticale sono utilizzate delle viti spallate inserite su delle bocche in ottone, all'interno delle quali è inserita una molla per attutire la discesa.

Per riportare le piastre in posizione iniziale sono presenti dei deceleratori lineari contenenti olio termostabile dotati di arresto meccanico integrato.

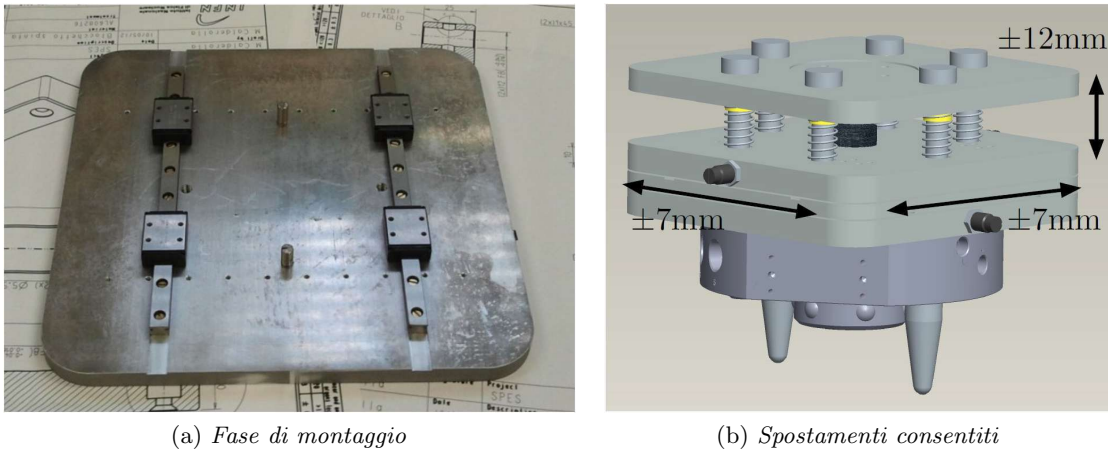


Fig. 2.19: Modulo compensatore

2.3.8 L'utensile di presa Schunk

Come già illustrato l'aggancio della camera target e del coperchio del sarcofago avvengono mediante l'utilizzo di un utensile di presa Schunk, montato sul modulo compensatore. Questo utensile permette di connettere due parti separate (figura 2.20) e di tenerle accoppiate grazie ad un sistema meccanico azionato da aria compressa. L'erogazione di aria compressa è necessaria solamente nelle fasi di aggancio e sgancio, il sistema non necessita di pressione per rimanere nella configurazione in cui si trova, agganciato o sganciato. Il sistema di presa è composto da un connettore maschio, installato sul braccio di presa, e un connettore femmina, installato sull'oggetto da prendere.



Fig. 2.20: Esempio di connettori Schunk

La femmina è installata sulla parte superiore della camera target (figura 2.21.a) e sul coperchio del sarcofago, il maschio nella parte inferiore del modulo compensatore (figura 2.21.b e figura 2.22.b).

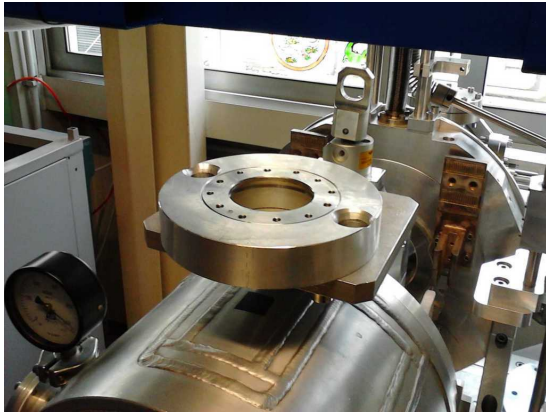
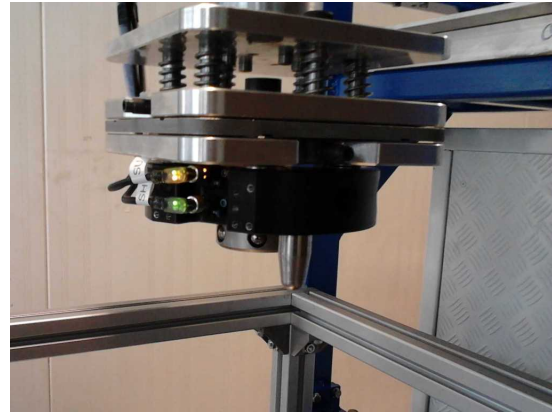
(a) *Femmina*(b) *Maschio*

Fig. 2.21: Connettori Schunk

All'interno del connettore maschio è presente un pistone, disposto verticalmente, composto da uno stantuffo connesso ad un disco di forma appropriata (figura 2.22.a). Nella fase di aggancio, quando una parte del connettore maschio è inserita nel connettore femmina, l'applicazione di aria compressa sopra lo stantuffo fa scendere il pistone, in questo modo il disco spinge verso l'esterno delle sfere metalliche che impediscono al connettore femmina di separarsi dal maschio. Nella fase di sgancio, l'applicazione di aria compressa sotto lo stantuffo fa salire il pistone, in questo modo il disco non mantiene più le sfere in posizione, quindi queste possono rientrare in modo che il connettore femmina non sia più vincolato al maschio, permettendo la separazione dei due.

L'utensile di presa Schunk ha una portata di 120 kg, sufficiente a sostenere il peso dell'oggetto più massiccio che deve movimentare, il coperchio del sarcofago, avente una massa di circa 100 kg.

L'aria compressa può essere erogata nelle zone dell'utensile sopra e sotto lo stantuffo grazie a due fori nella sua struttura dotati di connettori per tubi dell'aria.

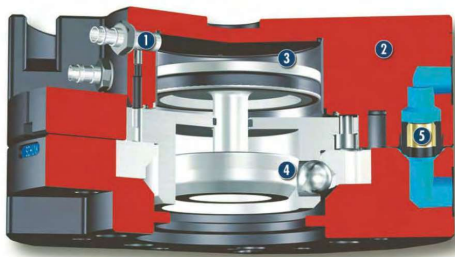
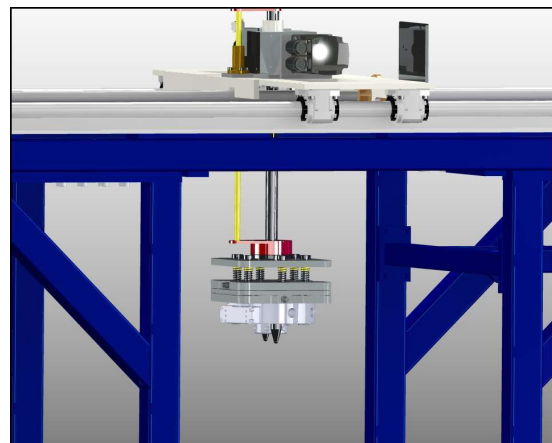
(a) *Sezione*(b) *Maschio montato sul cartesiano*

Fig. 2.22: Utensile di presa Schunk

Il gancio Schunk è anche dotato di due sensori elettromagnetici in grado di determinare la posizione del pistone al suo interno. Sono posti a lato dell'utensile ad altezze diverse, ognuno dei due viene attivato quando lo stantuffo si trova in prossimità di esso. Quando è attivato il sensore posto sopra significa che il pistone si trova in alto e quindi il gancio si trova nella configurazione sganciato; quando è attivato il sensore posto sotto significa che il gancio si trova nella configurazione agganciato.

I sensori sono stati collegati all'alimentazione e al PLC mediante cavi tripolari dotati di appositi connettori, necessari per la connessione ai sensori stessi, aventi incorporati dei LED che indicano se il sensore è in funzione e se è attivato (figura 2.21.b). Dei tre fili del cavo di ogni sensore, come da istruzioni del costruttore, uno è stato connesso a massa (filo blu), uno alla tensione di 24 V continua (filo marrone), per alimentare il sensore e i LED, il terzo è stato collegato ad un ingresso del PLC (filo nero) in quanto porta il segnale di uscita del sensore: se la sua tensione è di 24 V il sensore è attivo, se è di 0 V no.

2.4 I motori e gli azionamenti

Come precedentemente illustrato il cartesiano dispone di tre sistemi di movimentazione che consentono il movimento lungo tre assi grazie a dei martinetti meccanici. In ognuno dei sistemi di movimentazione il moto viene trasmesso da un motore elettrico o in alternativa, in caso di guasto di quest'ultimo, da un motore ad aria compressa.

I motori elettrici utilizzati sono motori sincroni a magneti permanenti. I tre motori sono tra loro uguali. Il modello di motore utilizzato è BMH0701T06A2A prodotto dalla Schneider Electric (figura 2.23), i cui dati tecnici principali sono visibili nella tabella 2.1. Il motore è dotato di un encoder assoluto di posizione avente una risoluzione nel rilevamento della posizione angolare del rotore di 0.08° . Il motore ha una lunghezza di circa 125 mm ed è fissato mediante una flangia quadrata di dimensioni 60 x 60 mm, al cui centro è presente un collare di precisione per l'individuazione del corretto posizionamento durante l'installazione. Ha una massa di 1.6 kg e il raffreddamento avviene per convezione naturale.



Fig. 2.23: Motore BMH

Tab. 2.1: Dati tecnici principali del motore BMH0701T06A2A

Coppia nominale	1.1 Nm
Coppia massima	4 Nm
Corrente massima	9.56 A
Costante di coppia	0.49 Nm/A
Velocità massima	5000 rpm
Momento d'inerzia del rotore	0.59 kg cm ²
Numero di coppie polari	5

Come è noto i motori sincroni necessitano di azionamenti per funzionare, che forniscano loro tensione e corrente nella giusta modalità in ogni momento, a seconda della posizione del rotore, della sua velocità e della coppia che deve essere erogata. Gli azionamenti permettono inoltre l'utilizzo di varie funzioni preimpostate, come l'esecuzione di leggi di moto.

Gli azionamenti utilizzati non sono tutti e tre uguali, pur essendo tutti e tre prodotti dalla Schneider e di tipo Lexium32 (figura 2.24); l'azionamento del motore dell'elevatore è un modello LXM32AD18M2, quelli dei motori del carrello e della gru sono un modello LXM32AU90M2. La ragione dell'utilizzo di azionamenti diversi è che il motore dell'elevatore deve poter fornire una coppia maggiore rispetto agli altri due, di conseguenza viene alimentato da un azionamento in grado di erogare una corrente maggiore.



Fig. 2.24: Azionamento Lexium32

I motori sono stati collegati agli azionamenti tramite due cavi, uno di colore arancione e uno di colore verde, connessi mediante gli appositi connettori.

Il cavo di colore arancione, collegato tramite il connettore CN10 (figura 2.26), è schermato e contiene quattro fili: tre di questi servono per alimentare gli avvolgimenti dello statore, uno per ogni fase (u, v, w), il quarto per connettere il telaio del motore al conduttore PE (Protection Earth). Il cavo arancione contiene anche altri due fili, utilizzati con i motori che, al contrario di quelli montati sul cartesiano, dispongono del freno di stazionamento. Tutti i fili e lo schermo sono stati collegati all'azionamento come da manuale (figura 2.25).

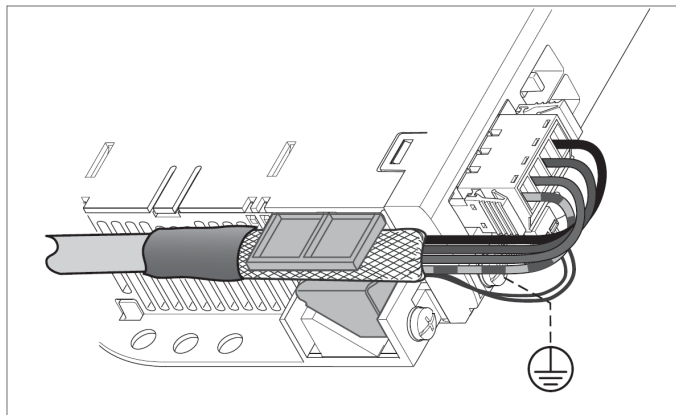
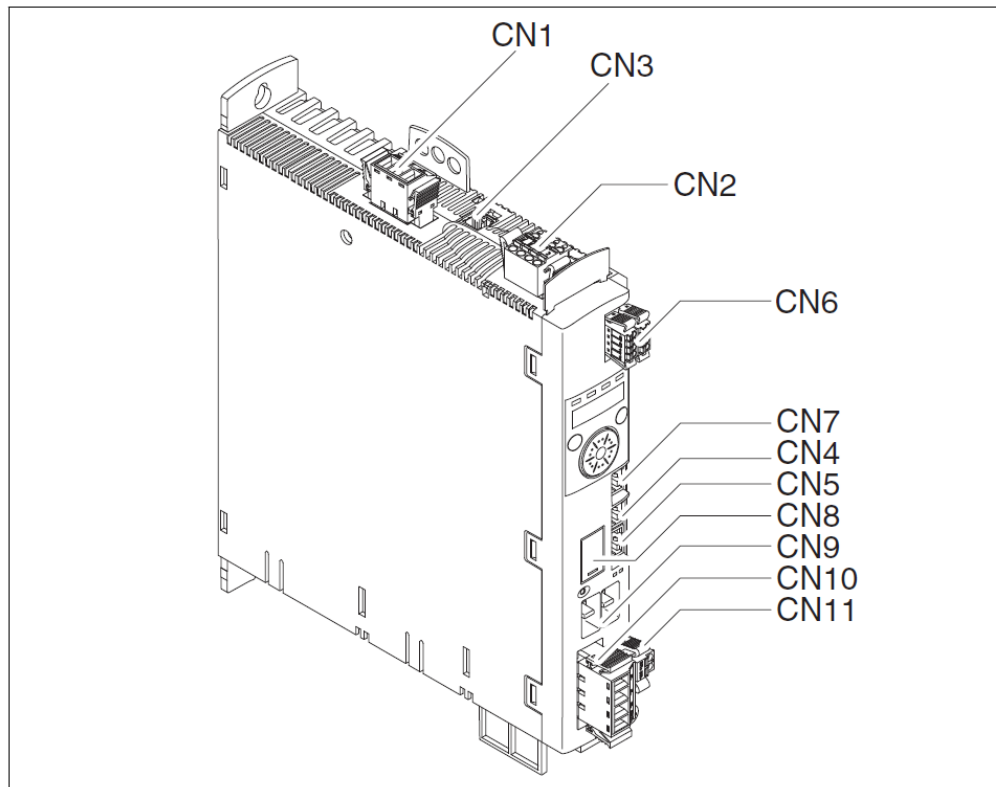


Fig. 2.25: Connessione dei fili del cavo arancione

Il cavo di colore verde, collegato tramite il connettore CN3 (figura 2.26), serve per connettere all'azionamento l'encoder di posizione. È utilizzato per alimentare l'encoder e per trasmettere i dati sulla posizione del rotore all'azionamento.

In figura 2.26 sono illustrate le funzioni dei connettori dell'azionamento. In figura 2.27 sono schematizzate le connessioni ai diversi cavi. In figura 2.28 è visibile una fotografia degli azionamenti collegati e attivati, all'interno dell'armadio dei controlli.



Connection	Assignment
CN1	Power stage supply
CN2	24 controller supply and safety function STO
CN3	Motor encoder (encoder 1)
CN4	CAN
CN5	CAN
CN6	Digital inputs/outputs
CN7	Modbus (commissioning interface)
CN8	External braking resistor
CN9	DC bus connection for parallel operation
CN10	Motor phases
CN11	Holding brake

Fig. 2.26: Connettori dell'azionamento

Ogni azionamento è stato collegato alla tensione di 230 V alternata tramite il connettore CN1 (figura 2.26) la quale alimenta il circuito di potenza che opera la conversione di tensione necessaria per alimentare i motori. Tramite il connettore CN2 è stato collegato

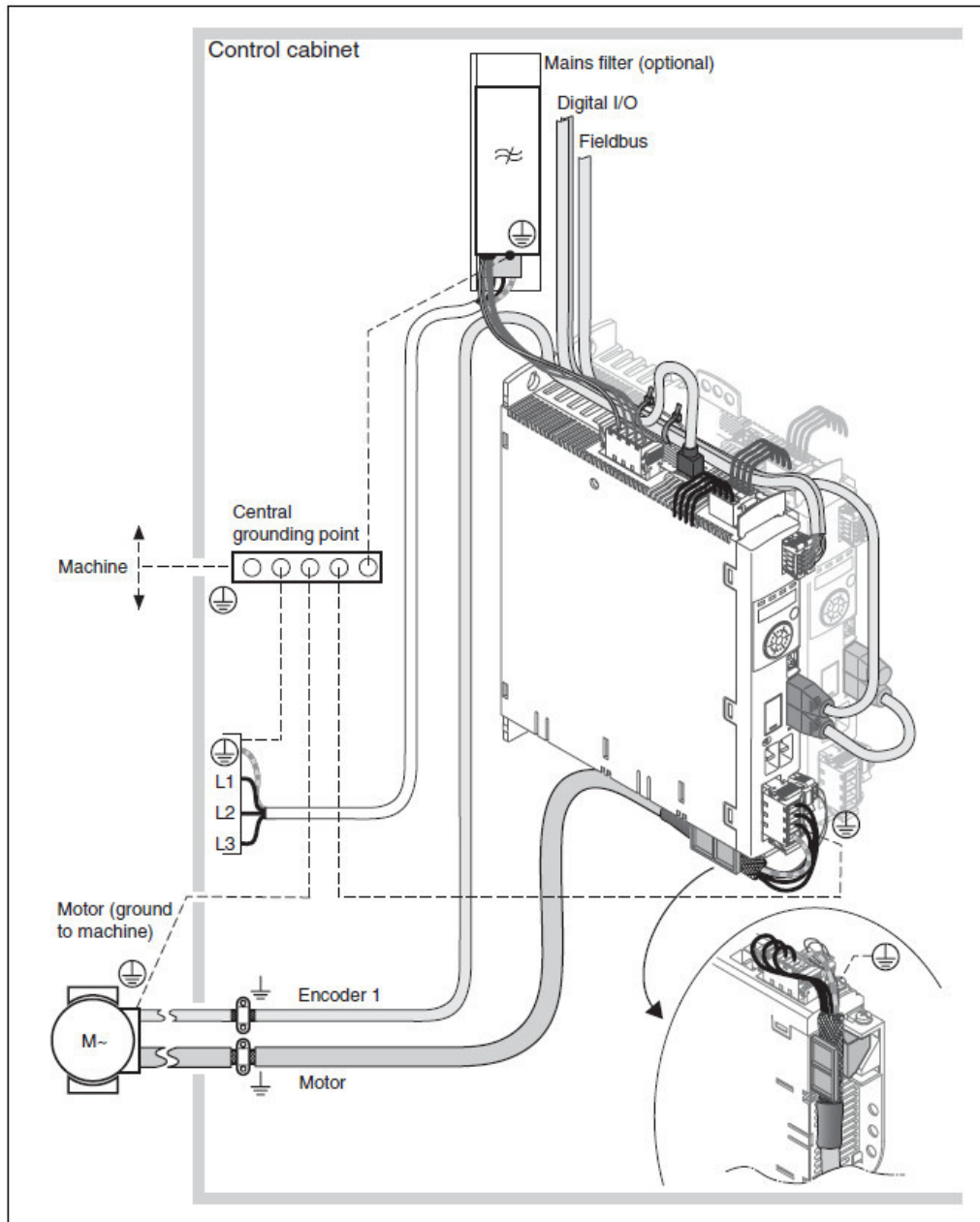


Fig. 2.27: Connessioni ai cavi dell'azionamento

alla tensione di 24 V continua che alimenta il sistema di controllo.

Gli azionamenti sono stati connessi tra loro e al PLC tramite bus CANopen mediante i connettori CN4 e CN5 (figura 2.26).

Essi inoltre sono stati connessi ai finecorsa tramite il connettore CN6 (figura 2.26).

Un azionamento può essere configurato editandone i parametri in tre modi: utilizzando la HMI (Human Machine Interface) integrata, collegandolo ad un computer in cui è installato l'apposito commissioning software o tramite bus CANopen. L'HMI integrata è una semplice interfaccia presente sull'azionamento, è costituita da un display a sette segmenti, dei LED spia e pochi pulsanti; essa consente di editare solo una parte dei parametri configurabili. Inizialmente gli azionamenti sono stati configurati utilizzando l'HMI integrata, successivamente l'impostazione dei parametri è stata effettuata utilizzando il bus CANopen attraverso il PLC.



Fig. 2.28: Azionamenti collegati e attivati all'interno dell'armadio dei controlli

2.5 I finecorsa

I finecorsa, o limit switch, sono dispositivi elettromeccanici utilizzati per rilevare il raggiungimento della fine della corsa meccanica in una movimentazione allo scopo di interrompere l'alimentazione che permette il movimento prima di un impatto tra i componenti. Questi dispositivi sono utilizzati principalmente per motivi di sicurezza ma anche per permettere ad un sistema automatico di rilevare la posizione di un organo meccanico.

Sul cartesiano sono stati montati sei finecorsa, due per ogni movimentazione, agli estremi delle corse meccaniche.

Il principio di funzionamento degli switch è il seguente. Essi sono dotati di tre connettori elettrici e un pulsante, che può essere anche premuto da una levetta. Uno dei connettori elettrici è collegato ad una determinata tensione e viene detto connettore comune (COM); degli altri due, uno è normalmente in contatto con il connettore comune, per cui ha la sua stessa tensione, e viene detto normalmente chiuso (NC, Normally Closed), l'altro è normalmente scollegato e viene detto normalmente aperto (NO, Normally Open). Quando il pulsante, o la levetta, viene premuto, ovvero quando l'organo meccanico raggiunge la fine della corsa, il connettore normalmente chiuso viene scollegato dal connettore comune mentre quello normalmente aperto viene collegato. Quindi monitorando la tensione su uno dei due connettori, NC o NO, o su entrambi, si può determinare se il pulsante del finecorsa è stato premuto oppure no e quindi se l'organo meccanico è giunto alla fine della corsa.

Nel sistema definitivo saranno utilizzati finecorsa robusti e di qualità; nella fase di test attualmente in corso vengono utilizzati cinque finecorsa ZF Electronics con "rotella" (figura 2.29.a) e un finecorsa Omron con "linguetta" (figura 2.29.b). Per montare i finecorsa sono state progettate, utilizzando il software di progettazione CAD 3D PTC Creo, e realizzate appositamente delle staffe che permettono la regolazione della loro posizione (vedere appendice A).

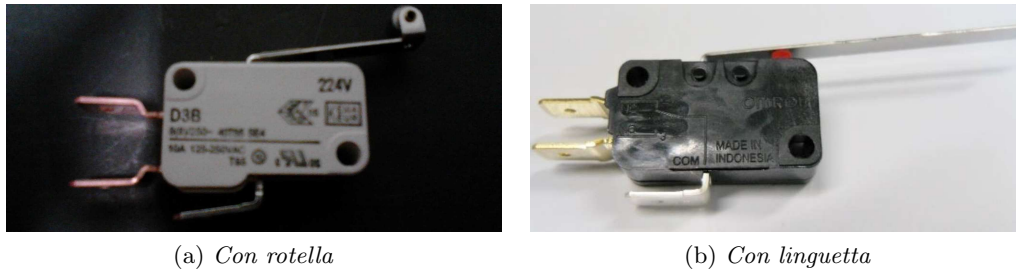


Fig. 2.29: Finecorsa

In figura 2.30 sono visibili i finecorsa montati sul cartesiano mediante le apposite staffe.



Fig. 2.30: Finecorsa montati sul cartesiano

I finecorsa del cartesiano sono stati installati collegando il connettore comune alla tensione di 24 V continua e impostando il monitoraggio della tensione sul connettore normalmente chiuso. Questa configurazione garantisce una maggiore sicurezza in caso di guasti come la rottura di un filo. Infatti nel caso di un guasto di questo tipo il connettore normalmente chiuso non risulterà alla tensione del connettore comune e il sistema interpreterà tale fatto come il raggiungimento della fine della corsa meccanica e impedirà il movimento dell'organo interessato. Se invece venisse monitorato il connettore normal-

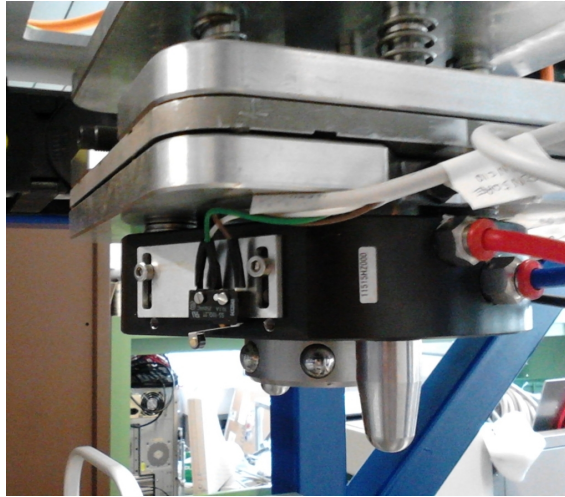


Fig. 2.31: Switch installato sul gancio Schunk e utilizzato come sensore di presenza

mente aperto, un eventuale guasto che impedisse il contatto elettrico non sarebbe rilevato e in caso di raggiungimento della fine della corsa il sistema non sarebbe avvertito.

I finecorsa di ogni movimentazione sono stati collegati agli appositi morsetti del connettore CN6 (figura 2.26) del corrispondente azionamento. Nel caso in cui un finecorsa venga raggiunto l'azionamento toglie l'alimentazione al motore causando un rapido arresto del movimento e segnala un errore; per poter azionare nuovamente il motore è necessario resettare l'errore, dopo ciò sarà possibile muovere l'organo meccanico, ma solo nella direzione opposta a quella del finecorsa, fino a quando il suo pulsante non sarà rilasciato.

Gli switch possono essere utilizzati dall'azionamento anche per determinare la posizione dell'organo meccanico movimentato.

Oltre ai sei finecorsa menzionati, sul cartesiano è stato installato anche un altro switch, anch'esso della ZF Electronics, di dimensioni inferiori: questo non ha la funzione di rilevare il raggiungimento della fine di una corsa meccanica ma è stato montato sul gancio Schunk, mediante un'apposita staffa, allo scopo rilevare la presenza dell'oggetto da agganciare (figura 2.31). Quando il connettore maschio dell'utensile di presa Schunk viene inserito nel connettore femmina lo switch viene premuto da quest'ultimo permettendo di rilevarne la presenza. Questo switch è collegato al PLC, non agli azionamenti, e vengono monitorati entrambi i connettori elettrici, NC ed NO, consentendo una doppia verifica.

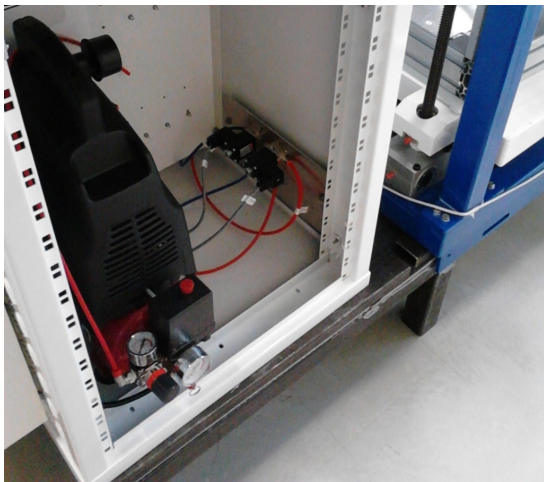
2.6 Il sistema ad aria compressa

Come precedentemente illustrato l'utensile di presa Schunk necessita dell'erogazione di aria compressa per compiere le operazioni di aggancio e sgancio. Il gancio Schunk è dotato di due connettori per tubi dell'aria e deve essere fornita pressione attraverso l'uno o l'altro a seconda che deva essere svolta l'operazione di aggancio o quella di sgancio.

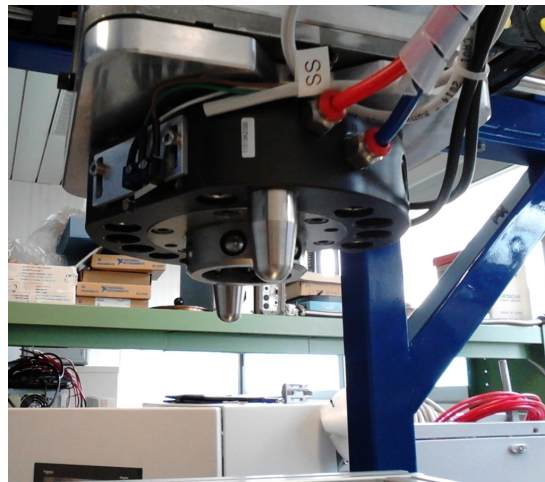
All'interno dell'armadio dei controlli è posto un compressore alimentato da una tensione di 230 V alternata; un tubo collega l'uscita del compressore ad un raccordo a T dal quale escono due tubi che sono stati collegati agli ingressi di due elettrovalvole Camozzi 638M-101-A6E. Altri due tubi sono stati usati per collegare le uscite delle elettrovalvole ai connettori per l'aria compressa del gancio Schunk.

Le elettrovalvole sono dispositivi costituiti da valvole controllate elettricamente: se viene applicata una certa tensione ai suoi connettori elettrici si attiva un elettromagnete che apre la valvola, se non viene applicata tensione una molla la chiude. Le elettrovalvole utilizzate per il gancio Schunk sono state installate all'interno dell'armadio dei controlli

(figura 2.32.a); per la loro apertura deve essere applicata una tensione di 230 V alternata. Esse sono state collegate con un cavo elettrico alle uscite del PLC, il quale le controlla.



(a) *Compressore ed elettrovalvole*



(b) *Tubi collegati al gancio Schunk*

Fig. 2.32: Sistema ad aria compressa

Una volta che il compressore ha raggiunto una certa pressione, quando viene applicata tensione all'elettrovalvola collegata al connettore del gancio Schunk che si trova più in alto (tubo rosso, figura 2.32.b), avviene l'operazione di aggancio, quando viene attivata l'elettrovalvola collegata al connettore che si trova più in basso (tubo blu, figura 2.32.b), avviene l'operazione di sgancio.

2.7 Il quadro elettrico

Il cartesiano dispone di un quadro elettrico situato nella parte posteriore dell'armadio dei controlli (figura 2.33). Esso è necessario al funzionamento dei componenti elettrici ed elettronici del sistema. È realizzato in modo da poter essere utilizzato anche per altre applicazioni, di conseguenza risulta sovradimensionato per il solo controllo del cartesiano.

Il quadro elettrico contiene dei convertitori di tensione, in particolare un convertitore dalla tensione di 230 V alternata a 24 V continua, il PLC, una serie di morsettiere per il cablaggio, una serie di interruttori per il controllo dell'alimentazione delle apparecchiature del sistema e un interruttore generale che fa capo a tutti i dispositivi elettrici che permettono il funzionamento del cartesiano. Le morsettiere sono collegate principalmente ai diversi moduli del PLC.

I sensori per determinare lo stato, agganciato o sganciato, dell'utensile di presa Schunk e lo switch utilizzato come sensore di presenza dell'oggetto da agganciare, sono collegati alla morsettiera corrispondente agli ingressi digitali a 24 V del PLC. I cavi delle elettrovalvole sono collegati alla morsettiera corrispondente alle uscite digitali a 230 V alternata del PLC.

Il quadro elettrico alimenta tutte le apparecchiature del sistema, in particolare fornisce l'alimentazione di 230 V alternata e 24 V continua agli azionamenti, 230 V alternata al compressore, 24 V continua ai sensori del gancio Schunk.

Il quadro elettrico è alimentato da una tensione di 230 V alternata fornita dal gruppo di alimentazione.



Fig. 2.33: Quadro elettrico

2.8 Il PLC, Controllore Logico Programmabile

2.8.1 Generalità

Il PLC (Programmable Logic Controller, Controllore Logico Programmabile) è un dispositivo utilizzato per il controllo di processi industriali; si tratta di un piccolo calcolatore i cui componenti sono progettati per operare in ambiente industriale. È caratterizzato da una realizzazione costruttiva tale da garantire un'alta affidabilità, occupare poco spazio, consentire una grande flessibilità d'impiego e permettere di svolgere facilmente manutenzione.

Il PLC è composto da un'unità principale e da una serie di schede modulari di ingresso e uscita (I/O) (figura 2.34); i componenti sono connessi da un bus che permette lo scambio di dati tra i moduli.

L'unità principale è composta da CPU, memoria e alimentatore e ha la funzione di svolgere le operazioni di calcolo e di memorizzazione dei dati. La memoria di programma contiene il codice che viene eseguito ciclicamente dalla CPU, mentre la memoria dati è utilizzata per memorizzare lo stato delle variabili e dei segnali di ingresso e uscita.

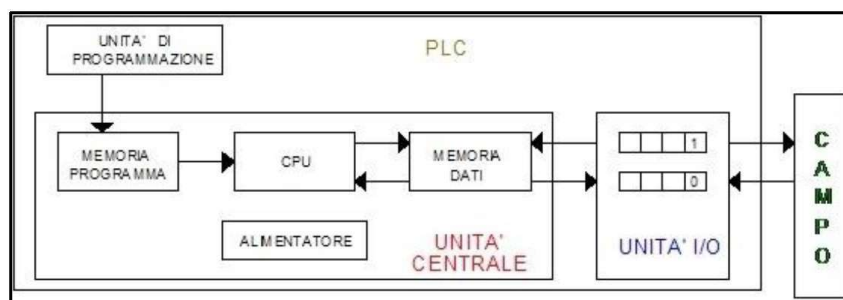


Fig. 2.34: Schema concettuale di un PLC

Le unità modulari di I/O esistenti sono molteplici e con caratteristiche diverse a seconda del produttore, ma alcuni tipi di schede sono fornite sostanzialmente da tutti i produttori di PLC. Si tratta delle unità modulari per ingressi e uscite digitali e analogiche. Le unità digitali sono utilizzate con segnali di tipo binario (OFF/ON, 0/1) solitamente corrispondenti a dei valori di tensione su dei contatti elettrici, ad esempio 0 associato a 0 V e 1 associato a 24 V. Le unità analogiche sono utilizzate con segnali di tipo continuo, variabili in tensione o corrente.

Sono disponibili anche moduli che permettono il collegamento ad altri dispositivi non facenti parte della struttura del PLC, consentendo di scambiare informazioni di ogni genere. Il numero massimo di moduli applicabili dipende dalla taglia del PLC. Per applicare i moduli di un PLC sono previste delle basi comuni con connettori integrati che permettono di inserire un certo numero di moduli (solitamente da 4 fino a 12), queste prendono il nome di rack. Il numero di rack utilizzabili dipende da quanti moduli supporta la CPU utilizzata. Le prime posizioni del primo rack contengono sempre l'alimentatore e la CPU, eventuali rack di espansione contengono sempre l'alimentatore nella prima posizione (figura 2.35.a).

Il funzionamento del PLC prevede di acquisire i segnali in ingresso, elaborare i dati eseguendo il programma e definire i segnali d'uscita ciclicamente e ininterrottamente. Il tempo necessario per eseguire tali operazioni è denominato tempo di ciclo e dipende sia dalla lunghezza del programma che dalle caratteristiche del PLC. Normalmente è dell'ordine di qualche millisecondo e comprende l'esecuzione delle seguenti fasi (schematizzate in figura 2.35.b):

1. gli input vengono riportati dalle schede di ingresso alla memoria interna;
2. il programma viene eseguito e vengono generati gli output nella memoria interna;
3. gli output vengono esternati mediante i moduli di uscita.

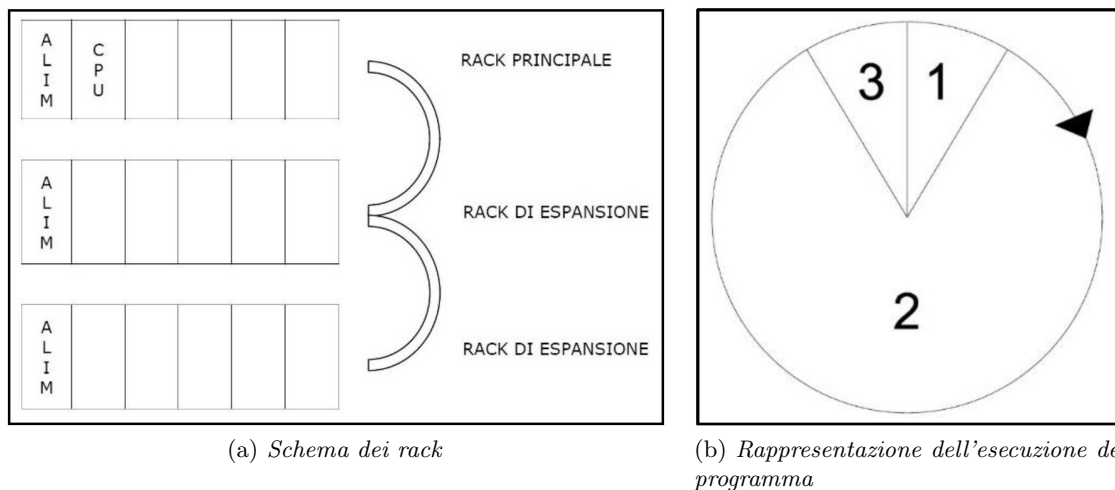


Fig. 2.35: Caratteristiche di un PLC

Per la realizzazione del software, ogni produttore mette a disposizione un ambiente di sviluppo utilizzabile su PC che consente la scrittura e la compilazione del codice che il PLC dovrà eseguire. All'interno del software di sviluppo vengono definite le variabili e le operazioni da svolgere al fine di compiere le azioni desiderate; le variabili possono essere di diverse tipologie (booleane, intere, reali, strutturate, etc) e permettono di svolgere calcoli sia logici che algebrici. Il codice può essere scritto utilizzando vari linguaggi di programmazione, che risultano molto simili tra i vari produttori e si basano principalmente sullo standard internazionale IEC1131, che prevede le cinque tipologie descritte di seguito.

Ladder Diagram, LD : si tratta di una rappresentazione grafica di espressioni logiche ottenuta combinando "contatti" e "bobine". Questo linguaggio, nato come trasposizione informatica di circuiti elettrici per il controllo, consente di sviluppare agevolmente operazioni semplici. Ogni riga di programma è una sequenza di contatti e bobine: se la sequenza di contatti a monte di una bobina presenta tutti valori booleani pari a 1 (true, vero), allora anche la bobina risulterà 1, altrimenti sarà 0 (false, falso). Questo linguaggio, almeno originariamente, non permetteva di realizzare operazioni più complesse, le versioni più recenti tuttavia permettono di incorporare blocchi funzione FBD e istruzioni singole ST, rendendolo più versatile.

Instruction List, IL : è un linguaggio testuale con una struttura simile all'assembler. È adatto alla soluzione di semplici problemi e alla produzione di codice ottimizzato, ma non supporta la programmazione strutturata.

Function Block Diagram, FBD : è un linguaggio grafico nel quale le istruzioni sono modellate come flussi di dati e di segnali attraverso elementi di processo o blocchi funzione; permette di scrivere il programma mediante la connessione di blocchi predefiniti al fine di rendere pratica la programmazione.

Structured Text, ST : si tratta di un linguaggio procedurale ad alto livello con una sintassi simile a quella del Pascal. È adatto per calcoli aritmetici anche complessi e consente un'ampia libertà realizzativa.

Sequential Function Chart, SFC : si tratta di un linguaggio simile alle reti di Petri. È costituito da una sequenza di fasi, o blocchi funzionali, collegate tra loro per mezzo di transizioni. A ciascuna fase sono associate una serie di azioni che vengono eseguite quando la fase è attivata; ogni transizione è associata a una condizione booleana il cui valore di verità determina l'attivazione della fase successiva. I linguaggi LD, IL, FBD, ST sono utilizzati per definire il contenuto dei singoli blocchi funzionali e delle transizioni, mentre il linguaggio SFC è utilizzato per combinare le parti e organizzare la struttura del programma.

È inoltre possibile la realizzazione di blocchi funzione definiti dall'utente, o DFB (Derived Function Block), che possono essere utilizzati all'interno del programma allo stesso modo dei blocchi predefiniti. Essi sono costituiti da una o più sezioni di codice scritte nei linguaggi LD, IL, FBD o ST, nelle quali sono eseguite istruzioni con variabili definite come ingressi o uscite e variabili interne, private o pubbliche, del blocco funzione. I DFB permettono di ottimizzare e strutturare l'applicazione snellendo la struttura del codice.

2.8.2 Il PLC del cartesiano

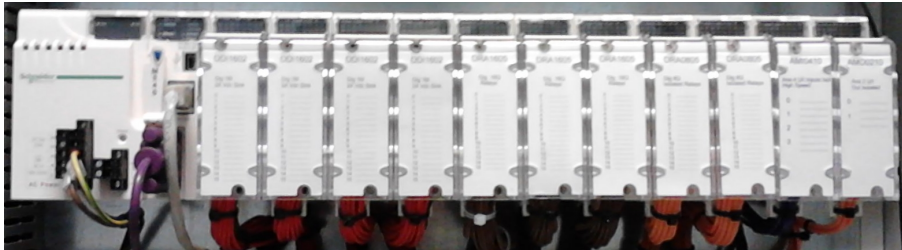
Il PLC utilizzato per il controllo del cartesiano è un PLC Schneider Modicon M340 installato all'interno del quadro elettrico (figura 2.36).

Il modulo che contiene la CPU dispone di uno slot per memoria SD, in cui è inserita una scheda di memoria che contiene il software che viene eseguito dal PLC, e di alcuni connettori per la comunicazione tra il PLC e altri dispositivi: è dotato di una porta USB che può servire per il collegamento ad un PC, di una presa ethernet per la comunicazione attraverso una rete LAN, e di un connettore CANopen che può essere utilizzato per comunicare con dispositivi compatibili, nel caso specifico, con gli azionamenti.

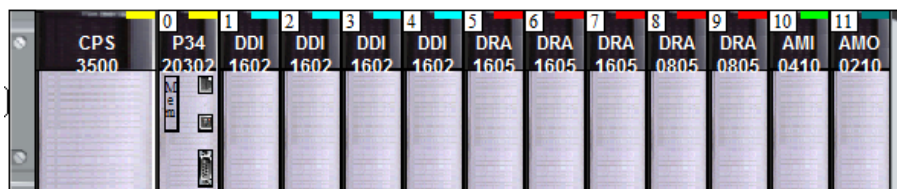
La configurazione hardware del PLC è composta dai seguenti moduli:

- 1 alimentatore CPS3500 da 36W di potenza (BMXCPS3500);
- 1 CPU 340-20 con connessioni TCP/IP e CANopen (BMXP3420302);

- 4 moduli di ingresso digitale DDI1602 con 16 ingressi (BMXDDI1602);
- 3 moduli di uscita digitale DRA1605 con 16 uscite relè (BMXDRA1605);
- 2 moduli di uscita digitale DRA0805 con 8 uscite relè isolate (BMXDRA0805);
- 1 modulo di ingresso analogico AMI0410 con 4 ingressi isolati (BMXAMI0410);
- 1 modulo di uscita analogica AMO0210 con 2 uscite isolate (BMXAMO0210).



(a) Installato nel quadro elettrico



(b) Configurazione nel software di sviluppo Unity Pro di Schneider

Fig. 2.36: PLC

Il PLC del cartesiano è sovradimensionato per la funzione che deve svolgere ma c'è la possibilità che in futuro venga utilizzato anche per altri scopi. Per il controllo del cartesiano vengono utilizzati, oltre alle connessioni ethernet e CANopen, quattro ingressi di un modulo di ingresso digitale DDI1602, per il rilevamento dello stato dei sensori del gancio Schunk, e due uscite di un modulo di uscita digitale DRA1605, per l'attivazione delle elettrovalvole.

Il connettore CANopen è stato utilizzato per collegare al PLC, appunto mediante bus CANopen, i tre azionamenti. Il connettore LAN è stato utilizzato per connettere il PLC a una rete ethernet in modo che sia accessibile da dei computer e da un'interfaccia uomo macchina costituita da un pannello touchscreen.

I fili elettrici dei sensori e delle elettrovalvole sono stati collegati ai morsetti corrispondenti ai connettori dei moduli del PLC come segue:

- il segnale di uscita del sensore che indica lo stato agganciato del gancio Schunk al primo connettore del primo modulo di ingresso DDI1602;
- il segnale di uscita del sensore che indica lo stato sganciato del gancio Schunk al secondo connettore del primo modulo di ingresso DDI1602;
- il connettore NO dello switch usato nel gancio Schunk come sensore di presenza al terzo connettore del primo modulo di ingresso DDI1602;
- il connettore NC dello switch usato nel gancio Schunk come sensore di presenza al quarto connettore del primo modulo di ingresso DDI1602;
- il connettore elettrico positivo dell'elettrovalvola che aziona l'operazione di aggancio del gancio Schunk al primo connettore del primo modulo di uscita DRA1602;

- il connettore elettrico positivo dell'elettrovalvola che aziona l'operazione di sgancio del gancio Schunk al secondo connettore del primo modulo di uscita DRA1602.

I connettori elettrici negativi delle elettrovalvole sono stati collegati a massa; i relè del modulo DRA1602 sono connessi alla tensione di 230 V alternata. I valori, 0 e 1, degli ingressi dei moduli DDI1602 corrispondono rispettivamente ai valori di tensione continua 0 V e 24 V applicata ai relativi connettori.

Gli ingressi e le uscite del PLC corrispondono, all'interno del codice che esegue, a dei particolari indirizzi di memoria che possono essere associati a variabili di tipo appropriato. Nell'ambiente di sviluppo Schneider gli ingressi digitali corrispondono ad indirizzi di memoria scritti nella forma $%Ix.y.z$ mentre le uscite digitali a indirizzi nella forma $%Qx.y.z$. x è la posizione del rack in cui è inserito il modulo, con numerazione dall'alto verso il basso partendo da 0, y è la posizione dello slot del modulo sul rack, con numerazione da sinistra verso destra partendo da 0 (nel primo rack 0 corrisponde alla CPU), z è la posizione del connettore nel modulo, con numerazione indicata sul modulo stesso. Ingressi e uscite digitali possono essere messi in corrispondenza, nel software del PLC, con variabili booleane.

Nella tabella 2.2 sono schematizzati gli ingressi e le uscite utilizzati del PLC con i relativi indirizzi di memoria.

Tab. 2.2: Schema riassuntivo di ingressi e uscite

Indirizzo	Tipologia	Collegamento
$%I0.1.0$	ingresso	Sensore agganciato
$%I0.1.1$	ingresso	Sensore sganciato
$%I0.1.2$	ingresso	Sensore presenza NO
$%I0.1.3$	ingresso	Sensore presenza NC
$%Q0.5.0$	uscita	Elettrovalvola aggancio
$%Q0.5.1$	uscita	Elettrovalvola sgancio

Con le stesse modalità sono gestiti anche ingressi e uscite di tipo diverso, ad esempio un ingresso analogico del modulo AMI0410 è allocato nella memoria come tipo word (16 bit) e il suo indirizzo ha forma $%IWx.y.z$.

Anche alle variabili interne possono essere assegnati degli indirizzi di memoria. Tali indirizzi hanno forma $%Mn$ o $%MWn$ dove n è un numero che indica la posizione del byte (8 bit), se viene utilizzato $%M$ (esempio $%M12$), o della word, se viene utilizzato $%MW$ (esempio $%MW12$). All'interno del codice Schneider l'indirizzo con forma $%Mn$ può essere utilizzato solo con variabili booleane di tipo EBOOL; per tutti gli altri tipi di variabili devono essere usati indirizzi della forma $%MW$, tenendo in considerazione che molti di quei tipi occupano nella memoria più di una word.

Gli indirizzi di memoria possono essere assegnati alle variabili in modo arbitrario, rispettando alcuni accorgimenti. L'assegnazione di un indirizzo è necessaria per le variabili che devono essere accessibili anche ad altri dispositivi che comunicano con il PLC.

2.9 Il sistema di comunicazione

Il sistema di controllo del cartesiano utilizza due tipi di rete di comunicazione: il bus CANopen, per la comunicazione tra il PLC e gli azionamenti, e la rete ethernet, per la comunicazione tra PLC, computer e interfaccia uomo macchina (HMI, Human Machine Interface).

2.9.1 Il bus CANopen

Il bus CAN (Controller Area Network) è un protocollo per la trasmissione dati che è stato sviluppato originariamente al fine di permettere una trasmissione dati veloce ed economica nell'industria automobilistica. Attualmente il bus CAN è utilizzato anche nell'automazione industriale ed è stato ulteriormente sviluppato per la comunicazione a livello di rete. Il bus CAN è un sistema di comunicazione standardizzato tra dispositivi, come sensori e attuatori, anche prodotti da costruttori diversi.

CANopen è un protocollo di comunicazione per dispositivi per sistemi embedded utilizzato in automazione, normalmente basato su bus CAN. Nello standard Open Systems Interconnection CANopen implementa i livelli a partire dal livello di rete in su, ovvero dal terzo in su; il bus CAN implementa i due livelli più bassi (il livello fisico e il livello di comunicazione).

Lo standard Open Systems Interconnection è meglio conosciuto come modello ISO/OSI. Si tratta di una regolamentazione per reti di calcolatori stabilita nel 1978 dall'International Organization for Standardization che stabilisce per l'architettura logica di rete una struttura a strati composta da una pila di protocolli di comunicazione di rete suddivisa in sette livelli, dal livello fisico, il più basso, al livello applicazione, il più alto, i quali insieme espletano in maniera logico gerarchica tutte le funzionalità della rete.

Lo standard CANopen consiste in uno schema di indirizzamento, di diversi piccoli protocolli di comunicazione e in un livello applicazione definito da un profilo di dispositivo. I protocolli di comunicazione hanno un supporto per la gestione di rete, per il controllo dei dispositivi e delle comunicazioni tra nodi, e includono un semplice livello di trasporto per la segmentazione e desegmentazione dei messaggi.

Nel bus CANopen diversi dispositivi sono connessi l'uno all'altro tramite un cavo seriale, costituendo i nodi della rete, e ogni dispositivo può ricevere e trasmettere dati.

Gli azionamenti del cartesiano sono dotati ognuno di due connettori per il collegamento ad un bus CANopen: CN4 e CN5 (figura 2.26). Per la realizzazione, nell'aspetto hardware, del bus CANopen del sistema di controllo del cartesiano, il PLC è stato connesso all'azionamento dell'elevatore, l'azionamento dell'elevatore a quello del carrello e quest'ultimo all'azionamento della gru. Per fare ciò un apposito cavo seriale è stato usato per collegare il connettore CAN del PLC al connettore CN5 del primo azionamento, un altro cavo per collegare il connettore CN4 del primo azionamento con il CN5 del secondo e un altro per collegare il CN4 del secondo col CN5 del terzo. Al connettore CN4 del terzo azionamento è stato applicato un dispositivo apposito per chiudere il bus.

Riguardo l'aspetto software del bus è stato necessario assegnare un indirizzo ad ogni azionamento e una velocità di trasmissione dati comune agli azionamenti e al PLC. All'azionamento dell'elevatore è stato assegnato l'indirizzo 1, a quello del carrello 2 e a quello della gru 3; la velocità è stata impostata a 500 kB, valore il cui limite massimo dipende da caratteristiche del sistema come la lunghezza dei cavi.

In questo modo è stato realizzato un bus CANopen che permette al PLC di controllare gli azionamenti.

2.9.2 La rete ethernet

Il PLC del cartesiano deve poter comunicare con almeno un computer, sul quale è eseguito il software per lo sviluppo del programma e il software per la supervisione SCADA, e con l'interfaccia uomo macchina. Per fare ciò, almeno nella fase di test, il PLC è stato connesso con cavo ethernet ad uno switch di rete ethernet 10/100 Mbps al quale sono stati connessi anche un computer e la HMI.

La comunicazione tra questi dispositivi si basa sul protocollo Modbus TCP/IP.

Modbus è un protocollo di comunicazione seriale ideato nel 1979 da Modicon per mettere in comunicazione i propri PLC. È diventato uno standard nella comunicazione di tipo industriale, ed attualmente è uno dei protocolli di connessione più diffusi al mondo.

Modbus consente la comunicazione fra diversi dispositivi connessi alla stessa rete; è spesso usato per connettere un computer supervisore con un'unità terminale remota nel controllo di supervisione e per sistemi di acquisizione dati (SCADA).

Nella rete Modbus TCP/IP la comunicazione per mezzo del sistema Modbus si basa sul protocollo TCP, ad un livello più basso, che a sua volta utilizza il protocollo IP, ad un livello ancora più basso.

A ogni periferica che deve comunicare per mezzo del Modbus viene assegnato un indirizzo unico. Ognuna di queste può inviare un comando Modbus, sebbene generalmente solo una periferica agisce come master. Un comando Modbus contiene l'indirizzo Modbus della periferica a cui deve giungere la comunicazione. Solo quest'ultima agirà sul comando, sebbene anche le altre periferiche lo ricevano. Tutti i comandi Modbus contengono informazioni di controllo, che assicurano che il comando arrivato sia corretto. I comandi base possono chiedere ad un'unità terminale remota di cambiare un valore in uno dei suoi registri, così come comandare alla periferica di restituire uno o più valori contenuti nei suoi registri.

A ogni periferica utilizzata per il controllo del cartesiano collegata mediante Modbus TCP/IP è assegnato un indirizzo IP; tali indirizzi sono: 84.15.92.216 per il PLC, che permette le connessioni attraverso la porta TCP 502, 84.15.92.210 per il computer, 84.15.92.215 per la HMI. In figura 2.37 è riportato uno schema della connessione.

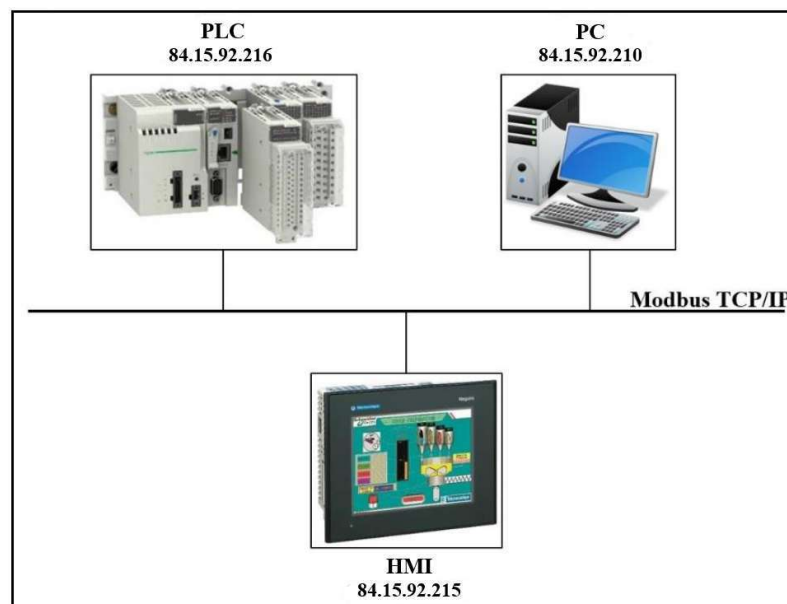


Fig. 2.37: Connessione tra i dispositivi

2.10 Il gruppo di alimentazione

Il quadro elettrico del cartesiano, che alimenta tutte le apparecchiature necessarie al suo funzionamento, riceve potenza elettrica da un gruppo di continuità installato all'interno dell'armadio dei controlli (figura 2.38). Questo eroga tensione a 230 V alternata ed è dimensionato in modo che, con batterie cariche, possa garantire con un grande margine di sicurezza la fornitura di elettricità necessaria ad una sequenza completa di prelievo o deposito della camera target.

Il gruppo di continuità utilizzato è un APC Smart-UPS RT 5000. Esso è dotato di un sistema di autodiagnosi che bypassa le eventuali batterie non funzionanti salvaguardando le altre. L'alimentazione del quadro elettrico del cartesiano è separata ed indipendente da quella dell'AGV.

Quando la macchina orizzontale sarà operativa, è previsto che nelle fasi di riposo il gruppo di continuità sia collegato alla rete elettrica per ripristinarne la carica e assicurarne il mantenimento.



Fig. 2.38: Gruppo di continuità

2.11 La collocazione delle apparecchiature per il controllo del cartesiano

Nelle figure 2.39 e 2.40 sono indicate le collocazioni delle apparecchiature atte al funzionamento del cartesiano.

2.12 Conclusioni

In questo capitolo è stato descritto il sistema denominato cartesiano nella sua interezza. È stata illustrata la sua struttura meccanica con particolare attenzione alle parti mobili e al modo in cui il loro moto viene attuato. Sono stati descritti i motori elettrici e gli azionamenti che consentono i movimenti, il gancio che permette di prendere camera target e sarcofago e le apparecchiature elettriche ed elettroniche che garantiscono il funzionamento e il controllo del sistema.

In sintesi, è stata illustrata la parte hardware dell'apparato. Nel prossimo capitolo sarà illustrata la parte software.

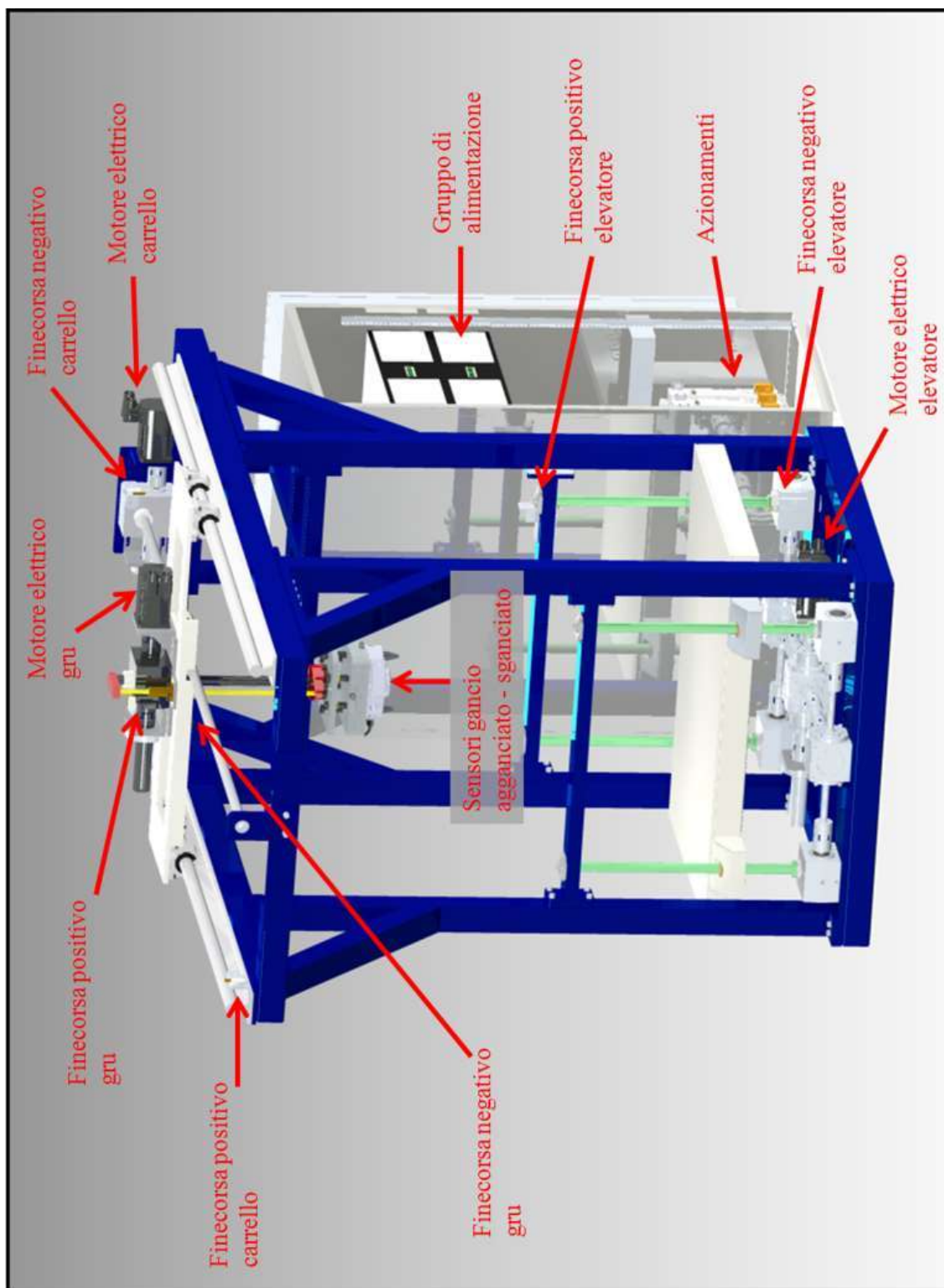


Fig. 2.39: Collocazione delle apparecchiature del cartesiano

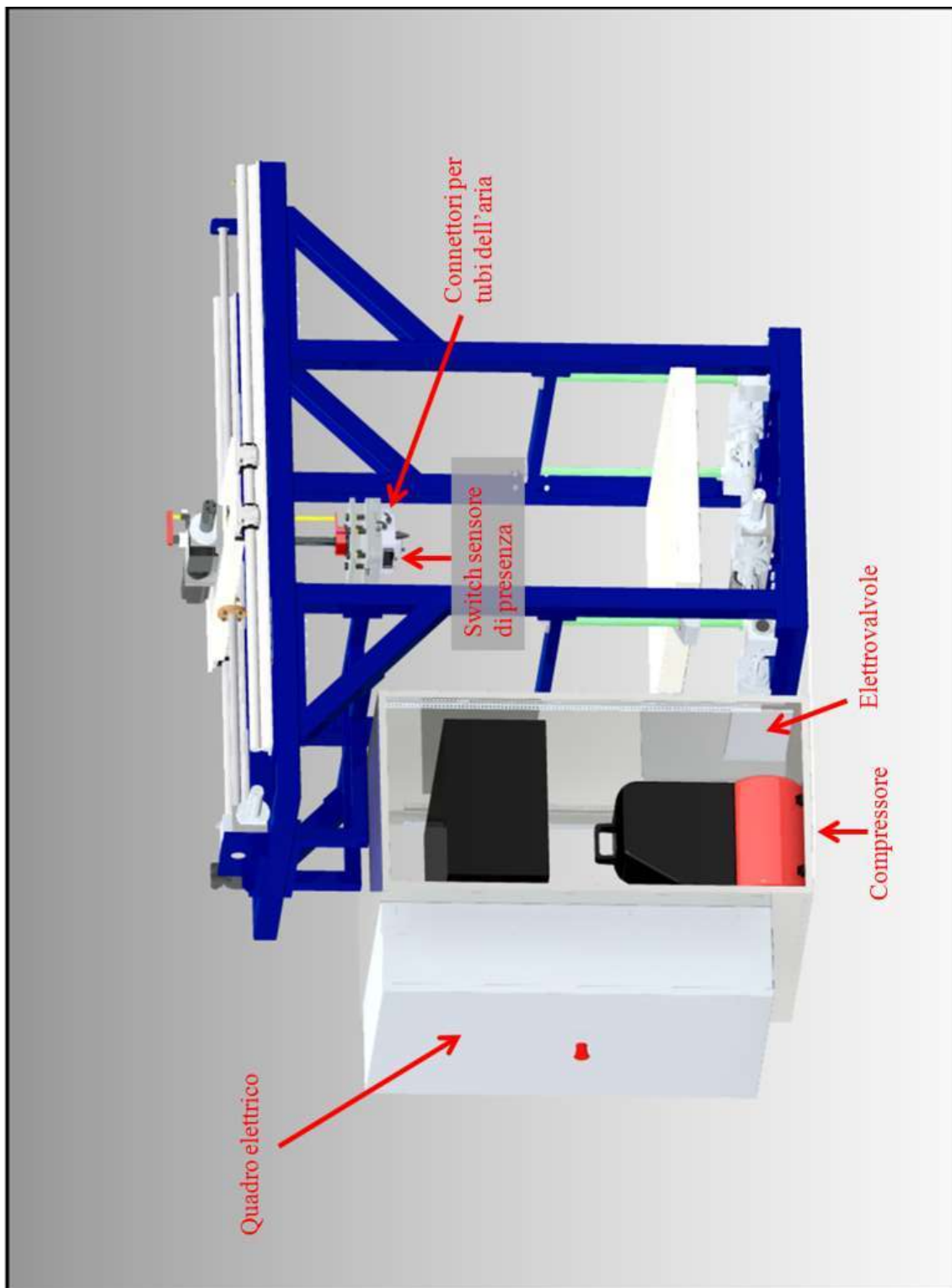


Fig. 2.40: Collocazione delle apparecchiature del cartesiano

Software di controllo

3.1 Introduzione

Il cartesiano deve eseguire operazioni delicate in modo autonomo ma deve anche essere sempre controllabile da un operatore. I suoi movimenti sono regolati dagli azionamenti dei motori, i quali sono comandati dal PLC, che controlla anche il gancio. Per il corretto funzionamento del sistema è necessaria un'opportuna configurazione degli azionamenti e l'esecuzione di un apposito software da parte del PLC.

In questo capitolo saranno illustrati le impostazioni implementate negli azionamenti e il programma sviluppato per il PLC, il quale permette di controllare il cartesiano in modo completo e regola l'esecuzione delle operazioni per cui il sistema è stato ideato.

3.2 Le impostazioni degli azionamenti

Gli azionamenti hanno un gran numero di parametri configurabili. Impostare opportunamente tali parametri è utile al corretto funzionamento dell'azionamento all'interno del sistema in cui è installato. Una parte dei parametri è editabile mediante l'interfaccia uomo macchina dell'azionamento ma il resto di essi no. La configurazione di questi ultimi è stata effettuata tramite il PLC.

Per la configurazione dei parametri mediante il PLC sono stati implementati due appositi blocchi funzione che ne permettono lettura e scrittura. Per effettuare tali operazioni è necessario identificare il parametro desiderato per mezzo di due valori numerici, indice e subindice, riportati in formato esadecimale nel manuale degli azionamenti.

Una parte dei parametri, detti non persistenti, torna al valore di default ogni volta che l'azionamento viene spento e riacceso; gli altri, detti persistenti, possono essere modificati in modo permanente. Per fare in modo che le modifiche effettuate mediante PLC ai parametri persistenti permangano anche dopo lo spegnimento e la riaccensione dell'azionamento è necessario impostare a 1 un particolare parametro (indice: 3004_h; subindice: 1_h), azione che comporta il salvataggio dei parametri persistenti modificati; al termine del salvataggio tale parametro torna autonomamente a 0.

3.2.1 La messa in servizio

Per mettere in servizio gli azionamenti è stato necessario seguire inizialmente, per ognuno di essi, una procedura di commissioning allo scopo di configurare alcuni parametri di base. Sono stati impostati dei limiti alla corrente erogabile al motore e alla velocità da esso raggiungibile; anche se uno degli azionamenti è diverso dagli altri due i motori sono tutti e tre uguali quindi sono stati impostati gli stessi limiti su tutti e tre gli azionamenti, corrispondenti ai dati di targa del motore, ovvero 9.56 A per la corrente massima e 5000 rpm per la velocità massima. Il superamento di tali limiti comporterebbe il blocco del movimento e la generazione di un errore da parte dell'azionamento.

La procedura di commissioning prevede inoltre la configurazione degli ingressi digitali, ovvero la definizione del comportamento che l'azionamento deve seguire in relazione ai segnali ricevuti tramite il connettore CN6 (figura 2.26). Sono state lasciate le impostazioni di default: dei quattro ingressi digitali due non vengono utilizzati, gli altri due sono usati uno per il collegamento al finecorsa positivo (ingresso DI2) e l'altro per il finecorsa

negativo (DI3); è impostata la configurazione normalmente chiuso dei finecorsa quindi si ha un funzionamento normale dell'azionamento quando entrambi gli ingressi sono a 24 V, mentre se uno dei due viene scollegato da tale tensione, fatto che indica il raggiungimento di un finecorsa, il movimento viene bloccato e l'azionamento genera un errore.

Un altro punto della procedura di commissioning prevede la definizione del verso di rotazione positivo del rotore del motore, che per default è antiorario, mediante un apposito parametro. Il verso di rotazione di ogni motore corrisponde a un verso del movimento del relativo organo meccanico.

I versi positivi dei movimenti degli organi del cartesiano sono stati definiti come si vede in figura 3.1: per l'elevatore (1) il verso positivo è verso l'alto, per il carrello (2) è quello che comporta l'allontanamento dall'armadio dei controlli, per la gru (3) è verso il basso.

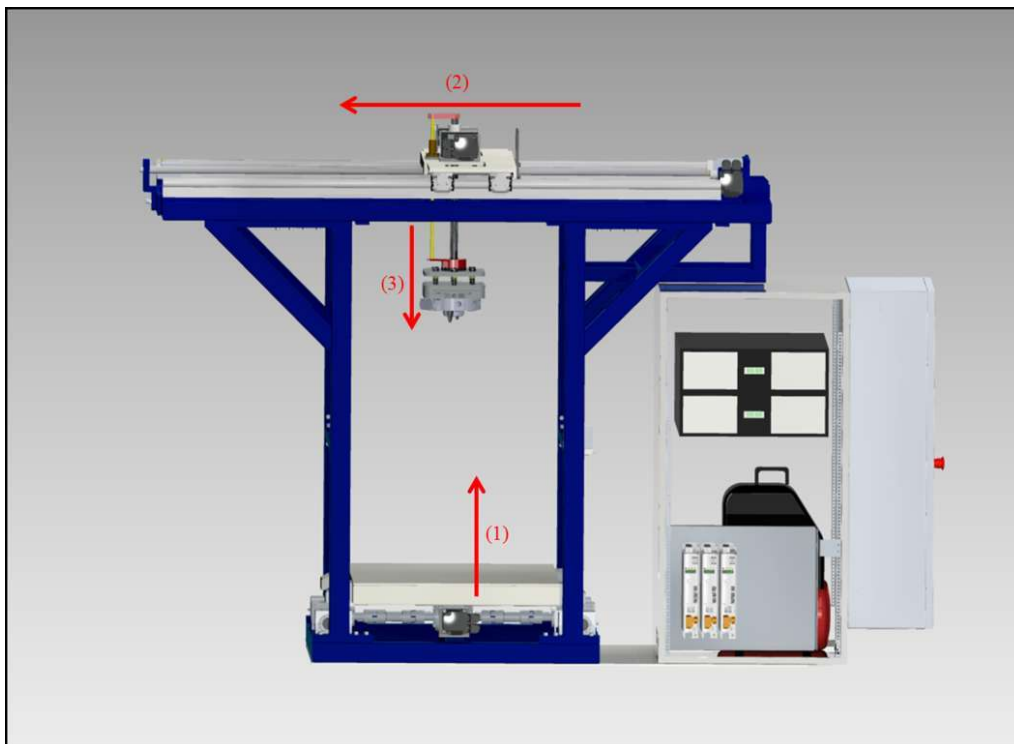


Fig. 3.1: Versi positivi dei movimenti del cartesiano

Per ottenere le definizioni dei versi desiderate, negli azionamenti del carrello e della gru è stata mantenuta l'impostazione di default mentre nell'azionamento dell'elevatore è stata invertita.

3.2.2 L'unità di misura della posizione

L'encoder di posizione fornisce all'azionamento la posizione angolare del rotore del motore. L'azionamento utilizza tali dati anche per tenere conto del numero di rotazioni effettuate e rende disponibile tale informazione al PLC oltre che mediante l'interfaccia uomo macchina. Il numero delle rotazioni viene fornito in un'unità di misura definibile dall'utente per mezzo di un fattore di scala.

Possono essere definite dall'utente anche le unità di misura della velocità e dell'accelerazione ma per queste, al contrario che per l'unità di misura della posizione, è stato lasciato il fattore di scala di default, che comporta l'utilizzo dell'unità di misura rotazioni al minuto (rpm), per la velocità, e rotazioni al minuto su secondo (rpm/s), per l'accelerazione.

Il fattore di scala è composto da due parametri interi dell'azionamento, un numeratore N e un denominatore D ; esso mette in relazione l'unità di misura definita dall'utente con

il numero di rotazioni come segue:

$$r = \frac{N}{D}l \quad (3.2.1)$$

dove r è il numero di rotazioni del rotore e l è lo spostamento espresso nell'unità di misura definita dall'utente.

Era stato scelto di definire l'unità di misura in ogni azionamento in modo che gli spostamenti riportati corrispondessero alle distanze in millimetri percorse dal relativo organo meccanico. Tuttavia questo comportava un valore del parametro N superiore a quello del parametro D , condizione non accettata dall'azionamento; quindi è stato fatto in modo che l'unità di misura corrispondesse alla distanza in decimi di millimetro e che il programma del PLC operasse la conversione in millimetri.

Con i rapporti di riduzione τ e i passi p definiti in precedenza ed esprimendo i passi delle viti in decimi di millimetro si ha quanto segue.

Per l'azionamento dell'elevatore si ha:

$$\frac{N}{D} = \frac{1}{\tau_{11}\tau_{12}\tau_{13}p_1} = \frac{32}{50} \quad (3.2.2)$$

quindi sono stati impostati $N = 32$ e $D = 50$ ($N = 16$ e $D = 25$ sarebbe stato equivalente).

Per l'azionamento del carrello si ha:

$$\frac{N}{D} = \frac{1}{\tau_2 p_2} = \frac{16}{50} \quad (3.2.3)$$

quindi sono stati impostati $N = 16$ e $D = 50$.

Per l'azionamento della gru si ha:

$$\frac{N}{D} = \frac{1}{\tau_3 p_3} = \frac{24}{50} \quad (3.2.4)$$

quindi sono stati impostati $N = 24$ e $D = 50$.

3.2.3 La regolazione dei controllori

Per regolare il movimento del motore e seguire le leggi di moto ogni azionamento dispone di un sistema di controllo multianello: l'anello più interno regola l'erogazione di corrente, l'anello intermedio la velocità, grazie ad un controllore proporzionale integrale, l'anello più esterno la posizione, grazie ad un controllore proporzionale (figura 3.2).

I parametri del controllore di corrente sono impostati automaticamente quando viene connesso il motore e non sono regolabili, quelli dei controllori di velocità e di posizione sì. Per la regolazione di questi ultimi gli azionamenti dispongono di una procedura di autotuning, atta a rilevare l'inerzia del sistema vista dal motore ed eventuali coppie resistenti o costanti, allo scopo di calcolare gli opportuni parametri per i controllori.

Con gli azionamenti del carrello e della gru la procedura di autotuning ha avuto esito positivo mentre con l'azionamento dell'elevatore, nonostante siano stati effettuati diversi tentativi, la procedura non è mai andata a buon fine interrompendosi con la generazione di un errore. È stato quindi necessario configurare i parametri dei controllori manualmente. Per fare questo sono stati eseguiti dei calcoli.

È stata considerata la seguente funzione di trasferimento del controllore di velocità:

$$C_v(s) = k_{pv} \left(1 + \frac{1}{sT_v} \right) \quad (3.2.5)$$

e la seguente funzione di trasferimento dell'anello chiuso di velocità:

$$W_v(s) = \frac{s\theta}{\omega_{ref}} = \frac{k_{pv}k_T(sT_v + 1)}{s^2T_vJ + s(T_vf + T_vk_{pv}k_T) + k_{pv}k_T} \quad (3.2.6)$$

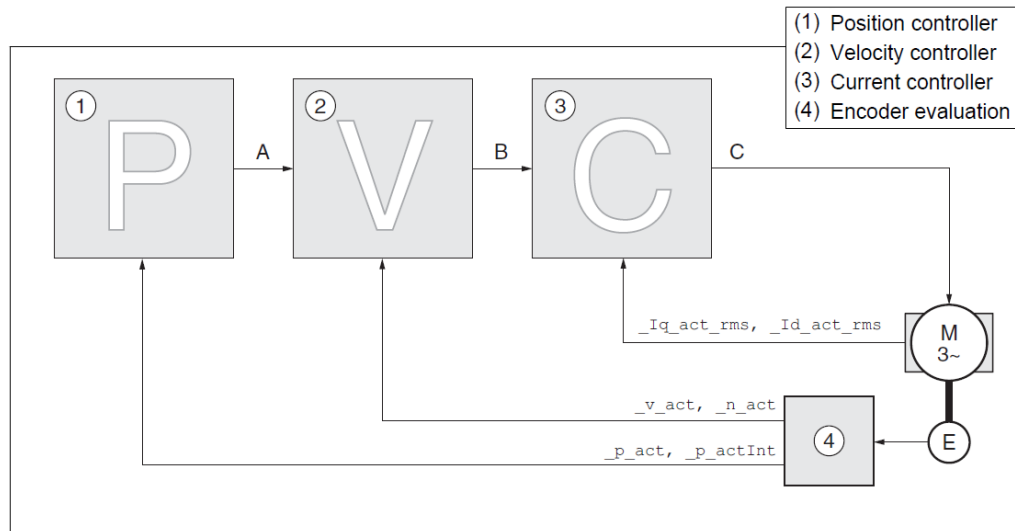


Fig. 3.2: Sistema di controllo dell'azionamento

dove k_{pv} è la costante proporzionale e T_v la costante di tempo dell'azione integrale del controllore PI; k_T è la costante di coppia del motore, J il momento di inerzia del sistema visto dal motore e f la costante di attrito viscoso che viene considerata trascurabile; s è la variabile della trasformata di Laplace.

Dopo alcuni passaggi si ricava che il fattore di smorzamento del sistema è:

$$\xi_v = \frac{\sqrt{T_v}}{2} \sqrt{\frac{k_{pv}k_T}{J}} \quad (3.2.7)$$

Per alcuni calcoli $W_v(s)$ viene approssimata alla funzione di trasferimento del sistema con il solo controllore proporzionale che è quindi del primo ordine:

$$W_{vI}(s) = \frac{1}{1 + \frac{sJ}{k_{pv}k_T}} \quad (3.2.8)$$

Operando tale approssimazione la banda passante risulta essere:

$$\omega_{Bv} = \frac{k_{pv}k_T}{J} \quad (3.2.9)$$

e quindi si ha

$$\xi_v = \frac{1}{2} \sqrt{\omega_{Bv}T_v} \quad (3.2.10)$$

Stabiliti i valori di banda passante e smorzamento desiderati si possono calcolare i parametri del controllore di velocità come segue:

$$k_{pv} = \omega_{Bv} \frac{J}{k_T} \quad T_v = \frac{4\xi_v^2}{\omega_{Bv}} \quad (3.2.11)$$

È stata considerata la seguente funzione di trasferimento del controllore di posizione:

$$C_p(s) = k_{pp} \quad (3.2.12)$$

dove k_{pp} è la costante proporzionale del controllore. Per ricavare la funzione di trasferimento dell'anello chiuso di posizione è stata utilizzata la funzione di trasferimento approssimata del primo ordine dell'anello chiuso di velocità W_{vI} . In questo modo l'anello chiuso di posizione risulta avere funzione di trasferimento:

$$W_p(s) = \frac{\theta}{\theta_{ref}} = \frac{k_{pp}\omega_{Bv}}{s^2 + s\omega_{Bv} + k_{pp}\omega_{Bv}} \quad (3.2.13)$$

Si ricava il fattore di smorzamento del sistema:

$$\xi_p = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\omega_{Bv}}{k_{pp}}} \quad (3.2.14)$$

Stabilito il valore del fattore di smorzamento desiderato si può calcolare il parametro del controllore proporzionale di posizione:

$$k_{pp} = \frac{\omega_{Bv}}{4\xi_p^2} \quad (3.2.15)$$

Il valore di J , necessario per i calcoli descritti, viene calcolato come segue:

$$J = J_m + J_1 + 2\tau_{11}^2 (J_{ac} + J_2) + 2\tau_{11}^2 \tau_{12}^2 J_{al} + 4\tau_{11}^2 \tau_{12}^2 \tau_{13}^2 J_v + \tau_{11}^2 \tau_{12}^2 \tau_{13}^2 k_1^2 M_p \quad (3.2.16)$$

dove

- J_m è il momento di inerzia del rotore del motore,
- $J_1 = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$ è il momento di inerzia equivalente del rinvio angolare collegato al motore,
- $J_2 = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$ è il momento di inerzia equivalente dei rinvii angolari collegati ai martinetti,
- $J_{ac} = 3.3 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$ è il momento di inerzia degli alberi corti che collegano il primo rinvio angolare agli altri due,
- $J_{al} = 1.76 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$ è il momento di inerzia degli alberi lunghi che collegano i martinetti e i rinvii angolari che trasmettono loro il moto,
- $J_v = 2.44 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$ è il momento di inerzia delle viti dei martinetti,
- $M_p = 54 \text{ kg}$ è la massa del pianale di carico,
- $\tau_{11}, \tau_{12}, \tau_{13}$ sono i rapporti di riduzione dei rinvii angolari e dei martinetti già definiti in precedenza,
- $k_1 = \frac{p_1}{2\pi}$ dove p_1 è il passo delle viti dei martinetti già definito in precedenza.

Il momento di inerzia dei giunti Rotex e il momento di inerzia equivalente dei martinetti non sono stati reperiti ma si ritiene che trascurandoli si commetta un errore piccolo. È stato calcolato che, grazie all'elevato rapporto di riduzione complessivo, l'aggiunta al sistema del sarcofago comporta una variazione del momento di inerzia visto dal motore inferiore all'1%. Risulta $J = 1.93 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2$.

Sono stati scelti una banda passante dell'anello chiuso di velocità di 100 Hz, corrispondente a una pulsazione $\omega_{Bv} = 628 \text{ rad/s}$, e un fattore di smorzamento di velocità $\xi_v = 1$. La scelta di questi valori è in parte dovuta a una valutazione effettuata a posteriori al fine di impostare parametri del controllore di velocità non eccessivamente lontani da quelli consigliati nella tabella in figura 3.3 presente nel manuale dell'azionamento.

Sono stati calcolati i seguenti valori per i parametri del controllore di velocità:

$$k_{pv} = 0.248 \text{ As/rad} \quad T_v = 6.37 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Tali valori devono essere convertiti nelle unità di misura richieste dall'azionamento:

$$k_{pv} = 0.026 \text{ A/rpm} \quad T_v = 6.37 \text{ ms}$$

J_L	$J_L = J_M$		$J_L = 5 * J_M$		$J_L = 10 * J_M$	
	KPn	TNn	KPn	TNn	KPn	TNn
1 kgcm ²	0.0125	8	0.008	12	0.007	16
2 kgcm ²	0.0250	8	0.015	12	0.014	16
5 kgcm ²	0.0625	8	0.038	12	0.034	16
10 kgcm ²	0.125	8	0.075	12	0.069	16
20 kgcm ²	0.25	8	0.15	12	0.138	16

J_M : Moment of inertia of the motor J_L : Moment of inertia of the load

Fig. 3.3: Tabella dei parametri consigliati

Era stato scelto un valore del fattore di smorzamento di posizione pari a $\xi_p = 1$ corrispondente a un valore del parametro del controllore di posizione

$$k_{pp} = 157 \text{ s}^{-1}$$

Tale valore però all'atto pratico è risultato essere eccessivo in quanto provoca l'innescarsi di moti vibratorii del motore quando dovrebbe stare fermo. È stato quindi impostato il valore

$$k_{pp} = 80 \text{ s}^{-1}$$

corrispondente ad un fattore di smorzamento di $\xi_p = 1.4$.

3.3 Il programma del PLC

Il programma del PLC è stato scritto in modo da poter controllare ogni azione del cartesiano. Il PLC, tramite bus CANopen e grazie ad un'apposita configurazione, controlla gli azionamenti e quindi i movimenti dei motori e degli organi meccanici ad essi collegati; legge inoltre gli output degli azionamenti come la posizione dei rotori, e quindi dei componenti meccanici mobili, la velocità, la corrente erogata ai motori, un eventuale stato di errore. Il PLC è anche connesso ai seguenti sensori del gancio Schunk, che costituiscono gli ingressi:

- sensore dello stato sganciato,
- sensore dello stato agganciato,
- connettore NO del sensore per la presenza dell'oggetto,
- connettore NC del sensore per la presenza dell'oggetto;

e alle elettrovalvole per l'esecuzione delle operazioni di aggancio e sgancio, che costituiscono le uscite.

Il PLC acquisisce continuamente tutte le informazioni disponibili sullo stato del sistema e ha il completo controllo su di esso.

Il programma del PLC utilizza le informazioni per elaborare, in base allo stato del sistema, gli output adeguati allo svolgimento delle operazioni che devono essere eseguite perché il cartesiano porti a termine con successo il compito di cui è incaricato.

I movimenti degli organi meccanici avvengono con una legge di moto trapezoidale in velocità con accelerazione e decelerazione che possono essere impostate in quanto parametri dell'azionamento, la velocità massima di regime è indicata dal PLC volta per volta. L'erogazione di aria compressa per le operazioni del gancio avviene con "impulsi" di durata impostata nel programma.

Il programma del PLC permette di ricevere e inviare agli azionamenti valori di spostamenti e coordinate relativi ai rotori dei motori; questi corrispondono, espressi in millimetri, alle distanze percorse dagli organi meccanici e alle loro posizioni rispetto ad un riferimento, previa una corretta taratura.

La posizione degli organi meccanici è fornita al PLC dagli azionamenti; la taratura è necessaria qualora l'azionamento non disponga di tale informazione. L'azionamento aggiorna e conserva l'informazione sulla posizione fino allo spegnimento quindi la taratura è necessaria ad ogni accensione. Per il corretto funzionamento del cartesiano controllato dal PLC le posizioni degli organi meccanici devono essere così definite:

- per l'elevatore il valore 0 della posizione corrisponde ad una distanza di 24 mm tra la superficie inferiore del pianale di carico e le superfici superiori dei martinetti;
- per il carrello il valore 0 della posizione corrisponde ad una distanza di 38 mm tra la superficie posteriore del carrello e la superficie anteriore del martinetto, o, equivalentemente, il valore 1320 corrisponde ad una distanza di 43 mm tra la superficie anteriore del carrello e la superficie posteriore del supporto della guida della vite;
- per la gru il valore 0 della posizione corrisponde ad una distanza di 42 mm tra la superficie superiore del modulo compensatore e la superficie inferiore del carrello.

Il programma permette il controllo del cartesiano, da parte di un operatore, mediante due modalità: manuale e automatica. Quando il sistema viene acceso la modalità selezionata è la stessa di quando è stato spento.

La modalità manuale

La modalità manuale permette di muovere singolarmente l'elevatore, il carrello e la gru, e di effettuare le operazioni di aggancio e sgancio del gancio Schunk.

Il movimento di un organo meccanico può essere eseguito in tre modi:

- Jog: vengono impostati due valori di velocità, a seconda del comando dato, premendo il relativo pulsante su un'interfaccia, il rotore del motore viene fatto girare in un verso o nell'altro, alla velocità scelta, seguendo la legge di moto, fino al rilascio del pulsante; l'arresto non è immediato ma segue la legge di moto.
- Movimenti relativi: vengono impostati uno spostamento e una velocità, il motore esegue lo spostamento richiesto alla velocità impostata, seguendo la legge di moto.
- Movimenti assoluti: vengono impostati una coordinata e una velocità, il rotore, e quindi l'organo meccanico, si portano alla coordinata richiesta muovendosi con la velocità impostata seguendo la legge di moto; questo modo di muovere l'organo meccanico può essere attuato solo se la posizione risulta tarata.

È possibile tarare la posizione di un organo meccanico, cioè fornire tale informazione al relativo azionamento, nei seguenti modi: facendolo muovere fino ad un finecorsa e indicando il valore numerico corrispondente a tale posizione; indicando il valore numerico corrispondente alla posizione in cui si trova; assegnando alla posizione in cui si trova il proprio valore numerico, memorizzato appositamente dal PLC prima dello spegnimento.

I tre modi di muovere un motore e le procedure per la taratura della posizione sono implementati dal PLC per mezzo di appositi blocchi funzione per il controllo degli azionamenti Lexium disponibili nel software di sviluppo Schneider. I blocchi funzione per i movimenti assoluti e la taratura della posizione sono utilizzati anche nella modalità automatica.

La modalità automatica

La modalità automatica consente di eseguire delle sequenze di azioni prestabilite che coinvolgono i componenti del cartesiano. Tali sequenze sono attuate allo scopo di compiere delle determinate operazioni:

- portare gli organi meccanici in posizioni prestabilite che possono costituire dei punti di partenza per altre operazioni;
- togliere il coperchio dal sarcofago e posarlo sull'apposito sostegno;
- prelevare la camera target dalla tavola di ammaraggio, riporla nel sarcofago, prendere il coperchio dal sostegno e usarlo per chiudere il sarcofago;
- togliere il coperchio dal sarcofago, posarlo sull'apposito sostegno, prendere la camera target dal sarcofago e posarla sulla tavola di ammaraggio;
- prendere il coperchio dal sostegno e usarlo per chiudere il sarcofago;
- tarare le posizioni degli organi meccanici portandoli, uno alla volta, ad un finecorsa;
- eseguire uno stress test su uno degli organi meccanici.

Nella modalità automatica è possibile inoltre tarare le posizioni di tutti e tre gli organi meccanici contemporaneamente, con un solo comando, assegnando alle posizioni in cui si trovano i rispettivi valori numerici, memorizzati appositamente dal PLC prima dello spegnimento. Se il sistema, quando viene acceso, si trova in modalità automatica, esegue questa operazione autonomamente.

3.3.1 L'ambiente di sviluppo

L'ambiente di sviluppo utilizzato per programmare il PLC è il software Unity Pro di Schneider fornito in associazione al PLC Modicon M340. Consente, tra le altre cose, la realizzazione di sezioni di codice scritte nei diversi linguaggi precedentemente spiegati, la definizione di blocchi funzione derivati i quali comprendono a loro volta sezioni di codice, la dichiarazione di variabili in un apposito elenco, la configurazione delle periferiche connesse al PLC, come gli azionamenti. Il tutto è organizzato in un albero di progetto che consente di operare agevolmente la scrittura del programma.

In figura 3.4 è mostrata una schermata del software di sviluppo Unity Pro, a sinistra è visibile il browser dell'albero di progetto, a destra alcune finestre degli editor per la scrittura del codice e la configurazione del programma.

3.3.2 La struttura del codice

Il programma del PLC (riportato nell'appendice B) è composto da diciannove sezioni di codice:

1. Controllo_Globale scritta in LD,
2. Attiva_Movimentazione scritta in FBD,
3. Posizione_Iniziale scritta in SFC,
4. Carico_Scarico scritta in SFC,
5. Togli_Coperchio scritta in SFC,
6. Posizione_InizPrel scritta in SFC,

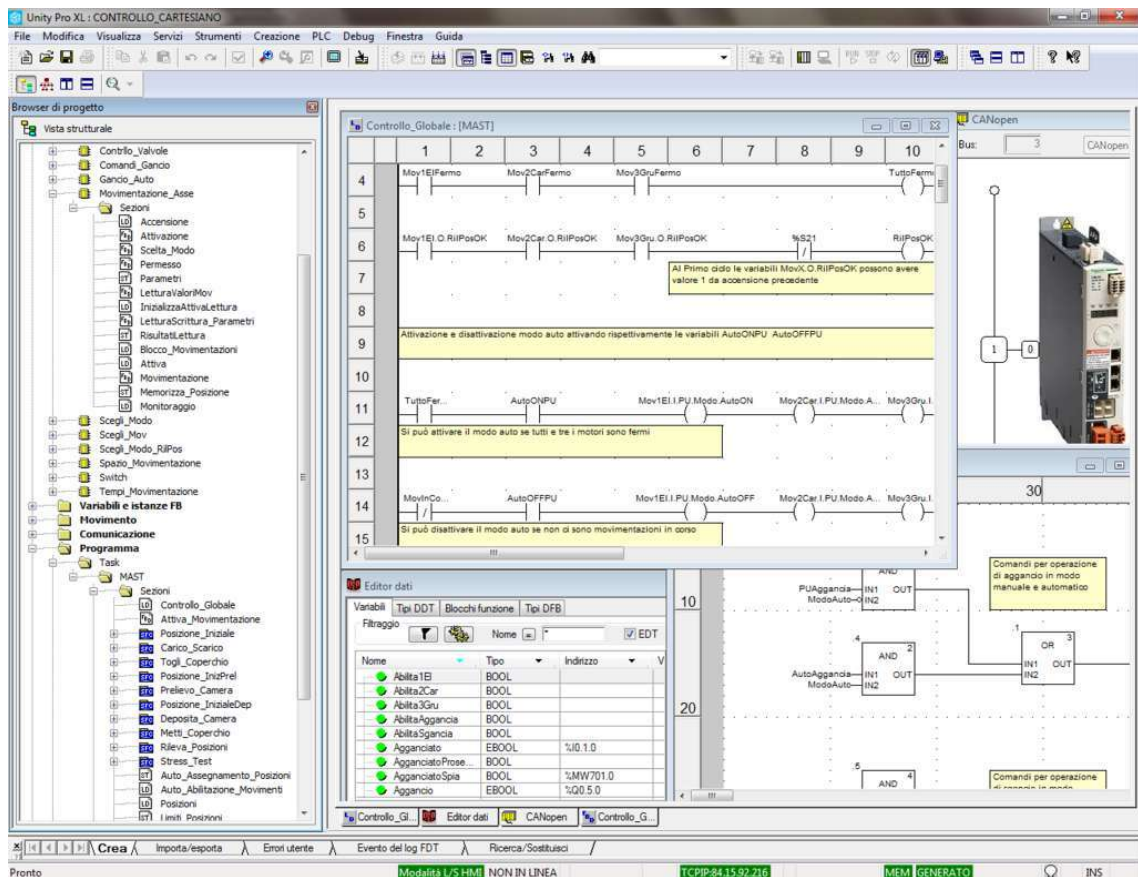


Fig. 3.4: Schermata del software di sviluppo Unity Pro

7. Prelievo.Camera scritta in SFC,
8. Posizione.InizialeDep scritta in SFC,
9. Deposita.Camera scritta in SFC,
10. Metti.Coperchio scritta in SFC,
11. Rileva.Posizioni scritta in SFC,
12. Stress.Test scritta in SFC,
13. Auto.Assegnamento.Posizioni scritta in ST,
14. Auto.Abilitazione.Movimenti scritta in LD,
15. Posizioni scritta in LD,
16. Limiti.Posizioni scritta in ST,
17. Controllo.Movimentazioni scritta in FBD,
18. Controllo.Gancio scritta in FBD,
19. Calcolo.Tempi.Spazi scritta in FBD,

nelle quali sono utilizzati un certo numero di blocchi funzione derivati e diversi tipi di dati derivati (tipi struttura). Questi ultimi costituiscono spesso ingressi e uscite dei blocchi

funzione derivati e molti di essi sono definiti al solo scopo di essere utilizzati per costruire tipi derivati più complessi.

La prima sezione di codice serve principalmente per elaborare i comandi dati dall'operatore, monitorare gli output del sistema e definirne lo stato.

Le sezioni dalla 2 alla 14 sono utilizzate solamente nella modalità automatica; la sezione 2 consente la scelta e l'avvio dell'operazione da svolgere, quelle dalla 3 alla 12 definiscono ognuna una sequenza di azioni che vengono compiute per attuare un'operazione, la 13 imposta coordinata da raggiungere e velocità dei movimenti, la 14 abilita l'esecuzione e stabilisce l'eventuale interruzione delle azioni che fanno parte di una sequenza.

La sezione 15, utilizzata solamente in modalità manuale, permette di eseguire movimenti degli organi meccanici per raggiungere coordinate predefinite.

La sezione 16 monitora le posizioni degli organi meccanici e, a seconda di dove si trovano, sia reciprocamente sia rispetto alle altre parti del cartesiano, e considerando la presenza del sarcofago, definisce dei limiti ai loro movimenti al fine di evitare collisioni tra parti meccaniche. I limiti imposti impediscono il raggiungimento dei finecorsa.

Nella sezione 17 è utilizzato un blocco funzione derivato `Movimentazione_Asse` per ognuno degli azionamenti; questo blocco funzione implementa a sua volta i blocchi funzione per il controllo degli azionamenti Lexium che consentono, tra le altre cose, l'esecuzione di movimenti dei motori secondo i comandi dati dal programma.

La sezione 18 implementa il controllo delle operazioni di aggancio e sgancio del gancio, inoltre elabora i segnali dei sensori per definirne lo stato, agganciato o sganciato, e identificare la presenza o l'assenza dell'oggetto da agganciare.

La sezione 19 calcola le durate delle operazioni automatiche composte da sequenze di azioni e tiene il conto, cumulativamente, delle rotazioni eseguite dai motori e quindi dello spazio percorso dagli organi meccanici.

3.3.3 Il blocco funzione derivato `Movimentazione_Asse`

Il blocco funzione derivato `Movimentazione_Asse` permette il controllo di un azionamento Lexium in tutti gli aspetti utili per l'applicazione sviluppata. Esso ha come ingressi e uscite variabili semplici e derivate. Una delle variabili di ingresso identifica l'azionamento, ovvero l'asse elettrico, da controllare, gli altri ingressi sono elaborati dal blocco funzione principalmente per determinare i comandi da inviare all'azionamento; le uscite del blocco costituiscono principalmente informazioni sullo stato dell'asse elettrico e dei suoi movimenti, come la posizione, la velocità, l'avvenuto completamento di un movimento con successo, un eventuale stato di errore. Il codice del blocco funzione è composto da quattordici sezioni.

All'accensione del sistema viene instaurata la comunicazione tra il PLC e l'azionamento, se questa operazione ha successo, tramite il blocco funzione `Movimentazione_Asse` viene assunto il controllo dell'asse elettrico. Il blocco funzione `Movimentazione_Asse` permette di attivare e disattivare l'erogazione di potenza al motore, controllare i movimenti dell'asse elettrico, leggere e scrivere i parametri dell'azionamento, in particolare accelerazione e decelerazione. Quando l'erogazione di potenza al motore è disattivata il rotore è libero di muoversi se sollecitato da forze o coppie esterne, questo però nel cartesiano non avviene in quanto i motori sono collegati a sistemi con viti trapezie i quali hanno la proprietà di irreversibilità del moto. L'attivazione dell'erogazione di potenza è necessaria per l'esecuzione di movimenti controllati dell'asse e per la taratura della posizione, inoltre serve per generare l'eventuale coppia necessaria a mantenerlo fermo quando non devono essere attuati movimenti. Per eseguire la scrittura dei parametri dell'azionamento l'erogazione di potenza deve invece essere disattivata (figura 3.5).

Il controllo dell'azionamento è possibile in cinque modi: Jog, Movimenti Relativi, Rilevamento (taratura) posizione, Movimenti assoluti, Auto.

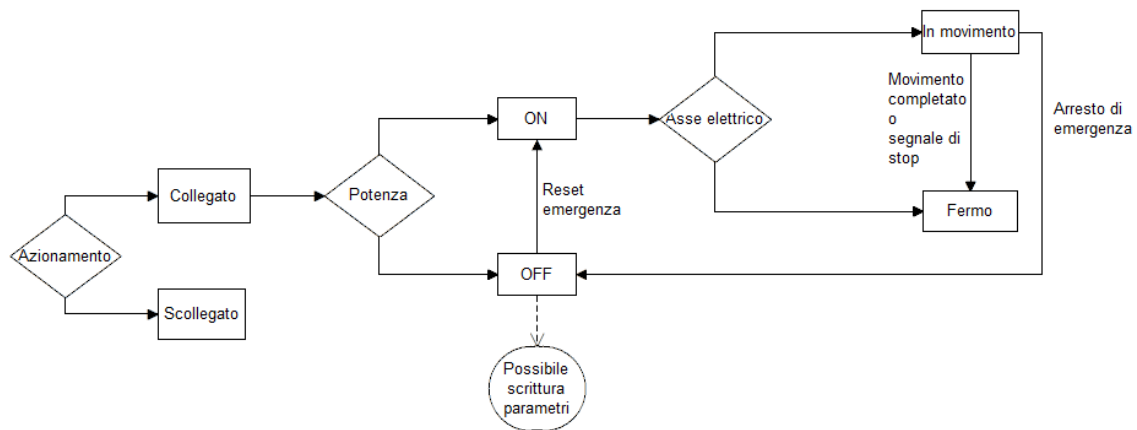


Fig. 3.5: Diagramma di stato relativo al controllo dell'azionamento

Il modo Auto prevede l'utilizzo del blocco funzione con cui vengono eseguiti i movimenti assoluti, utilizzato anche nel modo Movimenti assoluti, e del blocco funzione per la taratura della posizione, utilizzato anche nel modo Rilevamento posizione. Con il modo Auto all'operatore non è consentito alcun tipo di controllo diretto sull'azionamento che è controllato dal programma. Non è consentita la scrittura dei parametri, sono gestiti dal programma l'erogazione di potenza e il controllo dei movimenti.

Con gli altri modi di funzionamento invece la scrittura dei parametri è consentita e l'erogazione di potenza è gestita dall'operatore che controlla i movimenti dell'asse come previsto dal modo scelto; se il modo Auto non è selezionato è inoltre possibile interrompere la comunicazione tra l'azionamento e il PLC (figura 3.6).

Il modo Auto è utilizzato per eseguire movimenti con cui vengono raggiunte coordinate indicate dal programma con velocità impostate dallo stesso, durante le sequenze automatiche. È usato inoltre per la taratura della posizione nella modalità automatica.

È importante specificare che il sistema si trova in modalità automatica se per tutti e tre gli azionamenti è selezionato il modo Auto. Il modo selezionato per un azionamento può essere cambiato se l'asse elettrico non è in movimento e se non è in corso una sequenza automatica.

I modi Jog, Movimenti relativi, Movimenti assoluti e Rilevamento posizione prevedono l'utilizzo di altrettanti appositi blocchi funzione per controllare i movimenti o tarare la posizione del rotore come precedentemente illustrato nella spiegazione della modalità manuale e approfondito in seguito.

Qualunque sia il modo di funzionamento selezionato è sempre possibile attivare la funzionalità di arresto di emergenza che disattiva l'erogazione di potenza al motore provocando un arresto rapido; per poter muovere nuovamente l'asse è necessario resettare l'arresto di emergenza.

Ogni movimento, in qualsiasi modo sia eseguito, può essere fermato in ogni momento dal PLC inviando un segnale di stop all'azionamento, che inizierà subito la decelerazione; l'invio di un segnale di arresto può essere deciso dall'operatore o dal programma, quest'ultimo manda tale comando solamente in particolari condizioni.

Il blocco funzione Movimentazione_Asse implementa dei controlli atti a impedire che l'organo meccanico superi i limiti di posizione imposti dal programma per evitare collisioni. In base alla velocità del motore rilevata e alla decelerazione impostata viene calcolata continuamente una stima dello spazio necessario per un arresto completo del movimento e, se risulta che anche iniziando immediatamente la decelerazione il movimento arriverebbe

3.7).

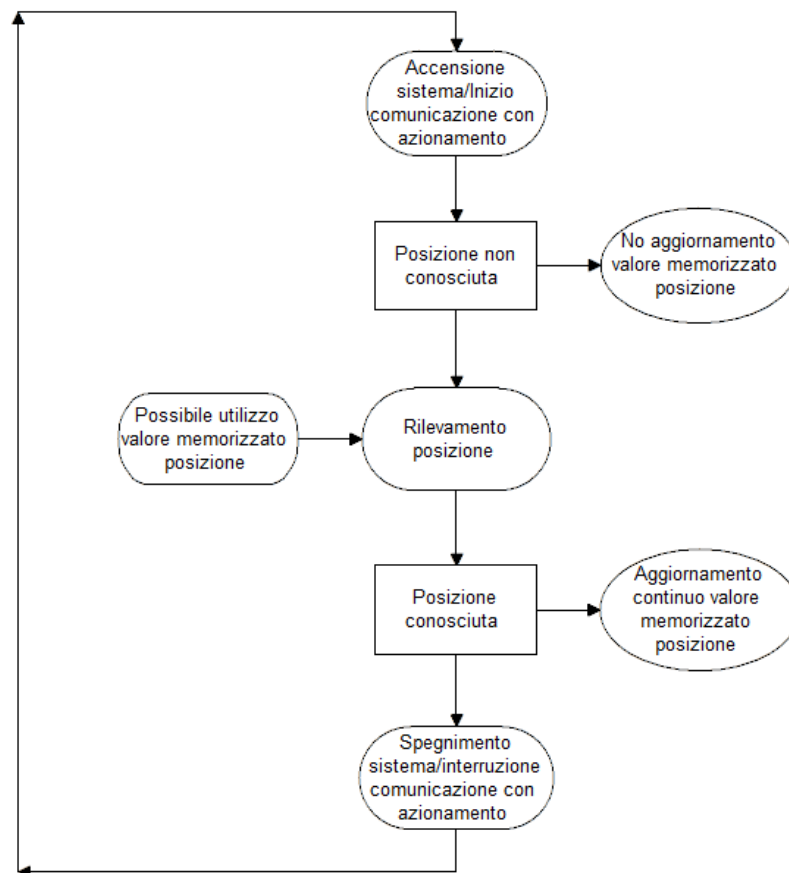


Fig. 3.7: Diagramma relativo alla taratura della posizione dell'asse elettrico

Nel programma il blocco funzione derivato `Movimentazione_Asse` è utilizzato tre volte, una per ogni azionamento, nella sezione di codice `Controllo_Movimentazioni`; le sezioni precedenti elaborano le informazioni disponibili al PLC, lo stato del sistema e i comandi ricevuti dall'interfaccia utilizzata dall'operatore per produrre gli ingressi ai tre blocchi funzione.

3.3.4 Il controllo manuale

Quando almeno uno dei tre blocchi `Movimentazione_Asse` non riporta come modo selezionato il modo `Auto` il sistema non è in modalità automatica, ovvero è in modalità manuale. In questa situazione ognuno dei tre organi meccanici mobili del cartesiano è controllabile separatamente dagli altri, secondo il modo selezionato che può essere cambiato se l'asse elettrico è fermo; analogamente le operazioni del gancio possono essere attuate a discrezione dell'operatore.

Come illustrato, nella modalità manuale è possibile scegliere fra tre modi di muovere ognuno dei tre assi elettrici: `Jog`, `Movimenti relativi`, `Movimenti assoluti`; oppure è possibile tararne la posizione selezionando il modo `Rilevamento posizione`. In ogni momento è possibile fermare un movimento premendo il pulsante di stop.

Con questa modalità l'interfaccia usata dall'operatore agisce direttamente su variabili facenti parte a loro volta di una variabile strutturata di ingresso al blocco funzione `Movi-`

mentazione Asse, garantendogli il controllo sulla scrittura dei parametri dell'azionamento, sull'erogazione di potenza al motore e sui movimenti dell'asse elettrico (figura 3.8).

Con il modo Jog devono essere forniti due valori di velocità, attraverso due variabili numeriche, ed è possibile premere uno di quattro pulsanti, corrispondenti a quattro variabili booleane; a seconda del pulsante premuto l'asse elettrico si muoverà in uno dei due versi con una delle due velocità. Le possibilità sono: Avanti veloce, Avanti, Indietro, Indietro veloce. Quando uno dei pulsanti viene premuto l'asse elettrico inizia il movimento nel verso scelto con l'accelerazione impostata fino ad arrivare alla velocità desiderata che viene mantenuta fino al rilascio del pulsante, a quel punto la velocità diminuisce con la decelerazione impostata fino a quando l'asse elettrico si ferma.

Con il modo Movimenti relativi devono essere forniti un valore di spostamento, positivo o negativo, e un valore di velocità, attraverso due variabili numeriche; premendo un apposito pulsante, corrispondente ad una variabile booleana, viene avviato il movimento. L'asse elettrico esegue lo spostamento indicato con l'accelerazione e la decelerazione impostate e la velocità scelta.

Con il modo Movimenti assoluti, che può essere selezionato solo se la posizione dell'asse elettrico risulta conosciuta (tarata), devono essere forniti una coordinata relativa alla posizione dell'asse e un valore di velocità, attraverso due variabili numeriche; premendo un apposito pulsante, corrispondente ad una variabile booleana, viene avviato il movimento. L'asse elettrico si porterà alla coordinata indicata con la velocità scelta e l'accelerazione e la decelerazione impostate. Nel programma sono preimpostate delle coordinate corrispondenti a particolari posizioni degli organi meccanici, utilizzate nelle sequenze automatiche. Con appositi pulsanti dell'interfaccia, è possibile avviare direttamente i movimenti verso tali coordinate senza bisogno di digitarle.

Con il modo Rilevamento posizione è possibile tarare la posizione dell'asse elettrico. Si può scegliere tra quattro possibilità per effettuare tale azione: assegnare alla posizione corrente dell'asse il valore memorizzato appositamente dal PLC prima dello spegnimento, assegnare alla posizione corrente il valore indicato dall'operatore, portare l'organo meccanico fino al finecorsa positivo e assegnare alla posizione corrispondente il valore indicato dall'operatore, eseguire lo stesso procedimento con il finecorsa negativo. A seconda del

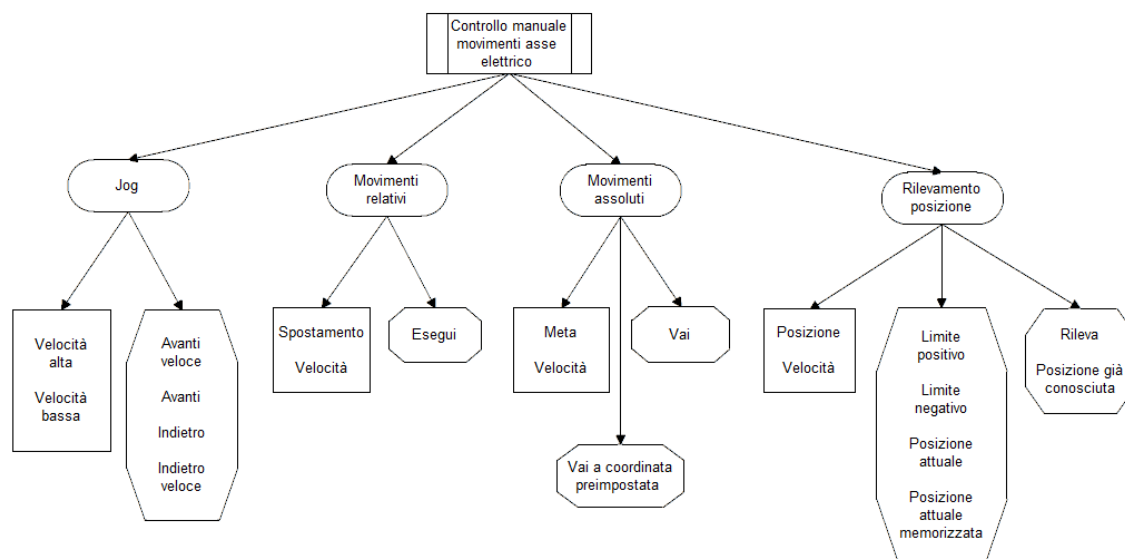


Fig. 3.8: Schema relativo al controllo manuale dell'asse elettrico

procedimento scelto devono essere indicati un valore della posizione e uno della velocità, con cui arrivare al finecorsa, attraverso due variabili numeriche. Per la scelta della procedura e il suo avviamento vengono premuti dei pulsanti corrispondenti a variabili booleane. È inoltre possibile, in casi particolari come lo spegnimento del PLC ma non dell'azionamento, indicare al PLC che la posizione comunicata dall'azionamento è già tarata; se l'azionamento conferma l'avvenuta taratura il PLC assume che la posizione è conosciuta.

Nella modalità manuale il gancio Schunk può essere controllato dall'operatore mediante due pulsanti, corrispondenti a due variabili booleane: uno per effettuare l'azione di aggancio e uno per l'azione di sgancio. Premendo uno dei pulsanti l'elettrovalvola corrispondente si attiva per un lasso di tempo impostato nel programma, durante il quale un'altra eventuale pressione di uno dei due pulsanti non ha alcun effetto. L'attivazione dell'elettrovalvola comporta l'esecuzione dell'azione desiderata.

3.3.5 Il controllo delle movimentazioni automatiche

Quando tutti e tre i blocchi `Movimentazione_Asse` riportano come modo selezionato il modo Auto il sistema è in modalità automatica. È possibile attivare la modalità automatica, quando tutti e tre gli organi meccanici sono fermi, premendo un apposito pulsante sull'interfaccia, che comporta la selezione del modo Auto per tutti e tre i blocchi `Movimentazione_Asse`; un altro pulsante permette di deselegionare il modo Auto in tutti e tre i blocchi, quando non ci sono sequenze automatiche in corso.

Sia nella modalità automatica che in quella manuale, è possibile attivare, con un solo pulsante, l'arresto di emergenza su tutti e tre i motori e, con un altro pulsante, resettarlo.

Nella modalità automatica l'operatore non può controllare direttamente i movimenti degli organi meccanici né le azioni del gancio. Può essere scelta, a seconda dello stato del sistema, una movimentazione automatica, ovvero una sequenza di azioni prestabilite che comportano il movimento degli organi meccanici e l'utilizzo del gancio Schunk. Ogni sequenza può essere avviata, interrotta e ripresa. Quando una movimentazione è stata interrotta e tutti i componenti meccanici sono fermi è possibile uscire dalla sequenza e passare alla modalità manuale o, qualora lo stato del sistema lo permetta, avviarne un'altra (figura 3.9).

Perché sia possibile selezionare e avviare una sequenza automatica devono essere conosciute tutte e tre le posizioni degli assi elettrici, ad eccezione che per la sequenza per la taratura delle posizioni. Nella modalità automatica, qualora le posizioni non siano conosciute, è possibile assegnare a quelle correnti i valori appositamente memorizzati dal PLC premendo un pulsante; se il sistema viene acceso in modalità automatica questa operazione viene effettuata automaticamente appena stabilita la comunicazione con gli azionamenti.

Quando viene avviata una sequenza viene attivata l'erogazione di potenza a tutti e tre i motori, quando la sequenza termina l'erogazione di potenza viene disattivata.

Nelle movimentazioni automatiche le singole azioni che fanno parte di una sequenza possono riguardare il movimento di un asse elettrico o l'utilizzo del gancio Schunk.

I movimenti

Nella modalità automatica i movimenti degli organi meccanici sono implementati mediante il blocco funzione per i movimenti assoluti, tranne che per la sequenza di taratura. Ogni volta che deve essere eseguito uno spostamento di un asse elettrico il programma fornisce in input al blocco `Movimentazione_Asse` corrispondente la coordinata di destinazione, la velocità e il comando di avvio.

Il programma ha una serie di coordinate preimpostate, per ogni asse elettrico, utilizzate nelle sequenze automatiche, e due valori di velocità. Quando nella sequenza automatica è previsto un movimento, viene attivata (portata a 1 per un ciclo di programma) la variabile

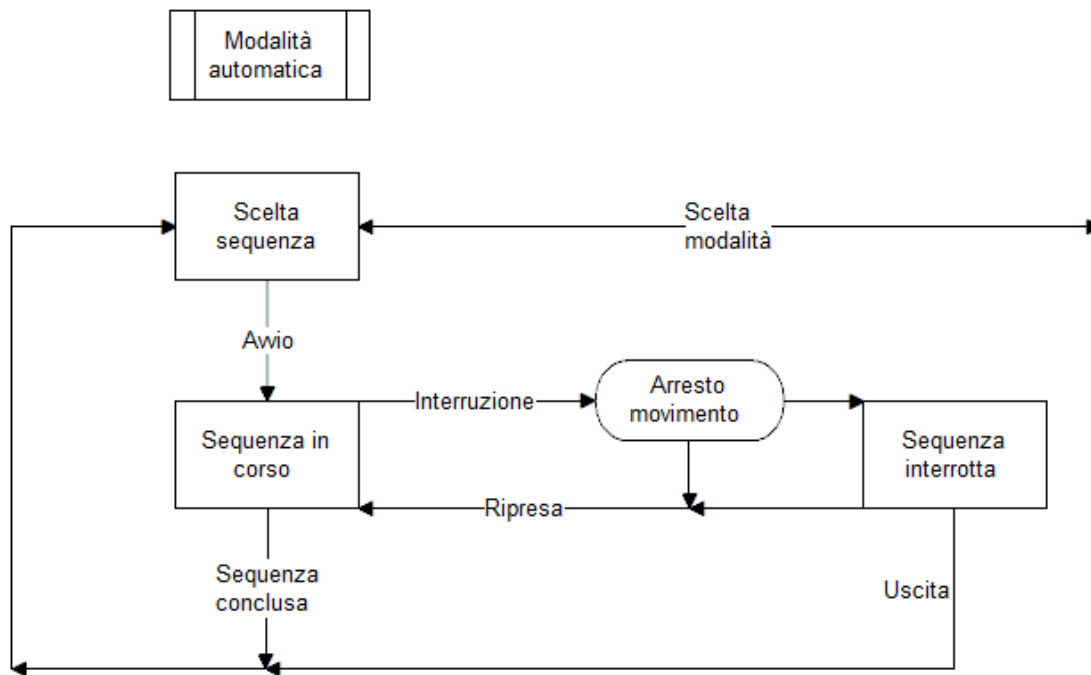


Fig. 3.9: Diagramma di stato relativo alla modalità automatica

booleana corrispondente a coordinata e velocità stabilite che (nella sezione di codice 13) comporta l'assegnazione di tali valori in input al blocco `Movimentazione_Asse` dell'organo meccanico da muovere.

Il comando di avvio del movimento viene dato (sezione di codice 14) quando l'asse elettrico è fermo, il movimento non risulta compiuto e la sequenza in corso non è stata interrotta. Se la sequenza viene interrotta durante un movimento viene inviato il segnale di stop e il comando di avvio viene bloccato fino alla ripresa della sequenza. Quando un movimento viene portato a termine il blocco funzione per i movimenti assoluti segnala l'avvenuto completamento negli output del blocco `Movimentazione_Asse` e a quel punto il programma può passare all'azione successiva della sequenza.

Il gancio

Le azioni del gancio nella modalità automatica sono controllate dal programma come i movimenti degli assi elettrici. Quando in una sequenza automatica è previsto l'utilizzo del gancio il programma attiva l'elettrovalvola corrispondente all'azione da eseguire, aggancio o sgancio, per un certo lasso di tempo, come nella modalità manuale. Se dai sensori risulta che l'azione è stata eseguita, cioè il gancio si trova nella configurazione desiderata, agganciato o sganciato, la sequenza automatica può proseguire, altrimenti vengono eseguiti fino ad altri quattro tentativi; se non hanno successo, presumibilmente per assenza di pressione nell'impianto dell'aria compressa, la sequenza non prosegue. A quel punto l'operatore, premendo un apposito pulsante, auspicabilmente dopo aver risolto il problema, può far sì che il programma faccia fino ad altri cinque tentativi; se non hanno successo può premerlo ancora. Appena l'azione risulta compiuta la sequenza riprende normalmente.

Quando deve essere attuata un'azione di aggancio, prima viene sempre eseguito un controllo sulla presenza dell'oggetto grazie agli input provenienti dallo switch utilizzato come sensore di presenza; se l'oggetto risulta presente l'aggancio viene effettuato, altrimenti no.

Le sequenze automatiche

Le sequenze automatiche sono definite nelle sezioni dalla 3 alla 12; una sezione per ogni sequenza. Ogni sequenza è composta da una serie di azioni, ognuna delle quali corrisponde ad un movimento di un organo meccanico o a un'operazione del gancio. Ogni azione termina quando viene ricevuta conferma del completamento dell'operazione programmata; nel caso di un movimento ciò avviene quando l'output del blocco funzione corrispondente segnala che questo è stato portato a termine, nel caso di un utilizzo del gancio quando dai sensori risulta che esso è nella configurazione richiesta. Quando un'azione è terminata avviene il passaggio alla successiva fino ad arrivare al completamento della sequenza. In alcune delle sequenze, quelle più importanti per lo svolgimento dei compiti del cartesiano, per il passaggio all'azione successiva è richiesto anche il consenso dell'operatore (figura 3.10).

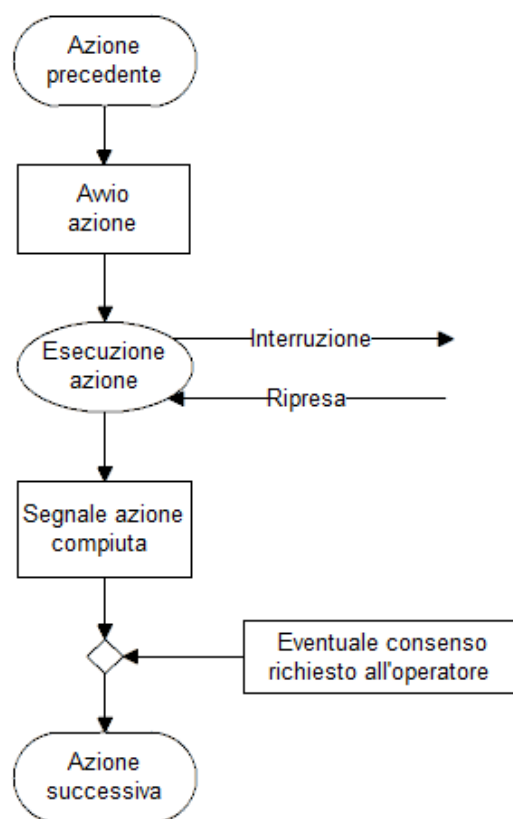


Fig. 3.10: Diagramma relativo a una singola azione di una sequenza automatica

Sono impostate dieci sequenze automatiche, quattro di esse sono utilizzate per portare gli organi meccanici del cartesiano, uno alla volta, a coordinate prestabilite, che costituiscono posizioni utilizzate come punti di partenza per altre sequenze o per permettere con facilità un intervento esterno sul cartesiano. Altre quattro servono per movimentare la camera target, il coperchio del sarcofago o entrambi. Una serve per portare gli organi meccanici ai finecorsa per rilevarne le posizioni; un'altra per eseguire lo stress test su uno dei componenti meccanici.

Ogni sequenza può essere selezionata e avviata sotto certe condizioni che sono definite allo scopo di impedire che i movimenti automatici provochino collisioni tra gli oggetti movimentati o che la movimentazione venga bloccata a causa del raggiungimento dei limiti di posizione definiti dal programma.

Le prime quattro sequenze menzionate portano gli organi del cartesiano a disposizioni chiamate: Posizione iniziale, Posizione di carico e scarico, Posizione iniziale di prelievo, Posizione iniziale di deposito (figura 3.11).

Nella sequenza per giungere alla Posizione iniziale l'elevatore viene abbassato del tutto (coordinata 0), il carrello viene posizionato presso il centro del cartesiano, in corrispondenza del connettore Schunk femmina del coperchio del sarcofago quando posto su quest'ultimo (coordinata 560), la gru viene abbassata completamente (coordinata 278). Questa sequenza può essere avviata se il sensore di presenza del gancio non rileva nessun oggetto, ovvero se l'utensile di presa Schunk non risulta inserito in alcun connettore femmina, oppure se il cartesiano si trova nella Posizione iniziale di deposito, illustrata in seguito e corrispondente anche a quella in cui termina la sequenza per il prelievo della camera target.

Per raggiungere la Posizione di carico e scarico l'elevatore viene abbassato del tutto (coordinata 0), la gru viene completamente alzata (coordinata 0), il carrello viene posizionato indietro (coordinata 10). Questa posizione ha lo scopo di facilitare il carico e lo scarico del sarcofago dal cartesiano operato dal carrello elevatore o dal sistema di movimentazione del deposito temporaneo. Questa sequenza può essere avviata se il cartesiano si trova nella Posizione iniziale oppure nella Posizione iniziale di prelievo, illustrata in seguito, oppure nella Posizione iniziale di deposito.

La Posizione iniziale di prelievo è simile alla Posizione iniziale con la differenza che il carrello è posizionato più avanti (coordinata 1000) in modo da essere vicino alla camera target sulla tavola di ammaraggio senza che la gru la tocchi, quando il cartesiano si trova davanti al front end. La sequenza per raggiungerla può essere avviata sotto le stesse condizioni di quella per la Posizione iniziale. La Posizione iniziale di prelievo è la posizione partendo dalla quale la sequenza di prelievo della camera target dura meno, infatti è stata definita allo scopo di costituirne il punto di partenza.

Per raggiungere la Posizione iniziale di deposito il carrello viene posizionato presso il centro del cartesiano (coordinata 560), l'elevatore viene parzialmente sollevato (coordinata 92) e la gru viene completamente abbassata (coordinata 278); a questo punto il gancio Schunk è inserito nel connettore femmina del coperchio sul sarcofago e viene eseguito l'aggancio. Questa posizione è definita allo scopo di costituire il punto di partenza della sequenza di deposito, infatti la sua durata è minimizzata se parte da tale posizione. Questa è anche la posizione in cui termina la sequenza di prelievo della camera target. La movimentazione per raggiungere la Posizione iniziale di deposito può essere avviata se il gancio è nella configurazione sganciato, il suo sensore non rileva l'oggetto, e si trova più in alto rispetto al coperchio, che deve essere sul sarcofago.

Le quattro sequenze utilizzate per muovere la camera target e il coperchio del sarcofago hanno le quattro seguenti finalità: togliere il coperchio dal sarcofago, prelevare la camera target dalla tavola di ammaraggio, depositare la camera target sulla tavola di ammaraggio, mettere il coperchio sul sarcofago.

La sequenza per togliere il coperchio può essere selezionata se il cartesiano si trova in una delle posizioni definite prima. Se non si trova nella Posizione iniziale di deposito, cioè il coperchio sul sarcofago non è già agganciato al gancio Schunk, vengono eseguite le seguenti azioni:

- il carrello viene portato presso il centro del cartesiano (coordinata 560),
- la gru viene completamente abbassata (coordinata 278),
- l'elevatore viene parzialmente alzato (coordinata 92),
- viene rilevata la presenza del coperchio e viene agganciato.

Poi vengono eseguite le seguenti azioni:

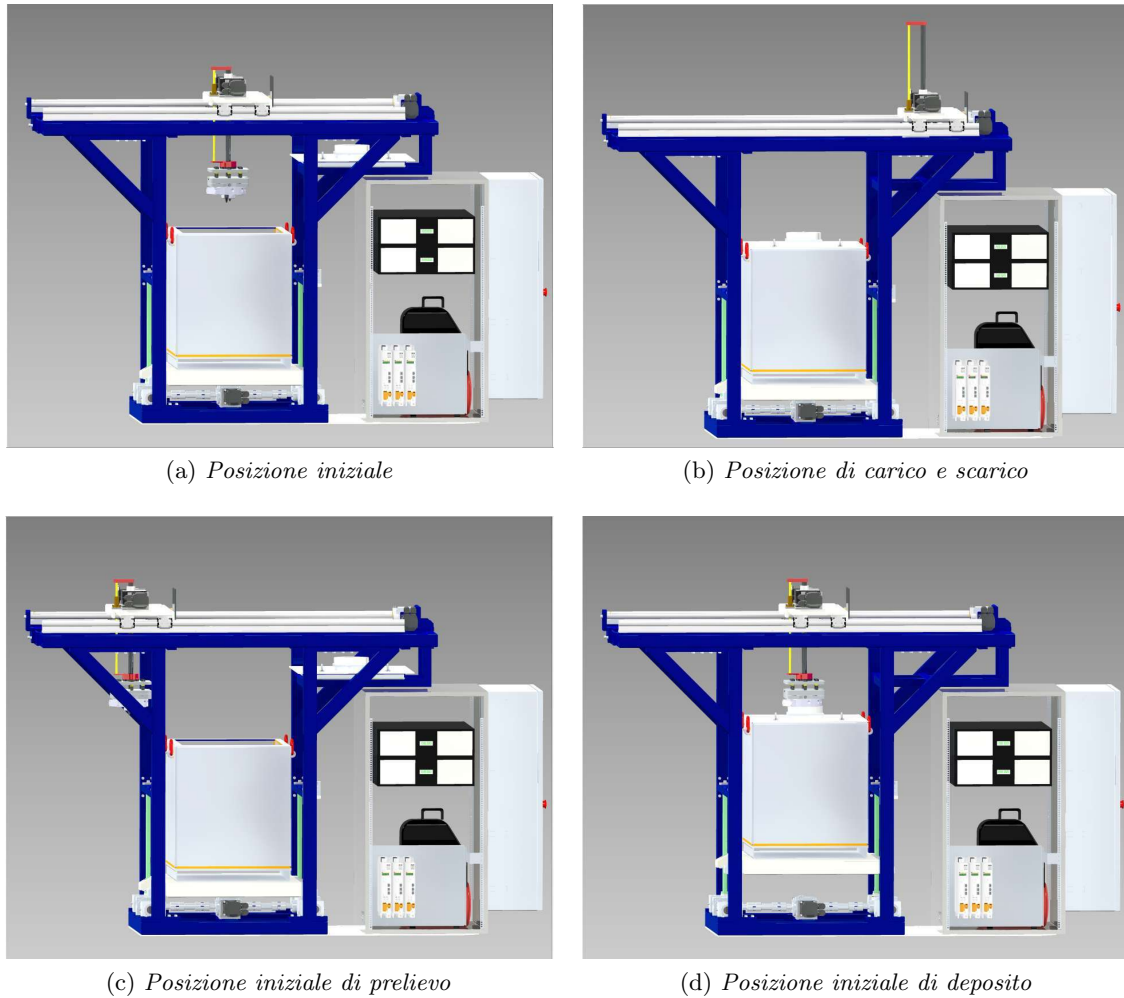


Fig. 3.11: Disposizioni degli organi meccanici

- l'elevatore viene completamente abbassato (coordinata 0),
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- il carrello viene portato indietro (coordinata 10) (figura 3.12),
- la gru viene abbassata in modo da posare il coperchio sull'apposito appoggio (coordinata 44),
- il coperchio viene sganciato,
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- viene raggiunta la Posizione iniziale di prelievo.

La sequenza per mettere il coperchio al sarcofago può essere selezionata se il cartesiano si trova in una delle posizioni definite prima, eccetto la Posizione iniziale di deposito, dato che comporterebbe già la presenza del coperchio sul sarcofago. Vengono eseguite le seguenti azioni:

- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- l'elevatore viene parzialmente alzato (coordinata 92),



Fig. 3.12: Movimentazione del coperchio

- il carrello viene portato indietro (coordinata 10),
- la gru viene abbassata in modo da raggiungere il coperchio sul suo appoggio (coordinata 44),
- viene rilevata la presenza del coperchio e viene agganciato,
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- il carrello viene portato presso il centro del cartesiano (coordinata 560),
- la gru viene completamente abbassata (coordinata 278),
- il coperchio, che a questo punto è posizionato sul sarcofago, viene sganciato,
- l'elevatore viene completamente abbassato (coordinata 0).

La sequenza per il prelievo della camera target può essere avviata a partire dalla Posizione iniziale di prelievo o dalla Posizione iniziale; il coperchio del sarcofago deve essere già stato tolto e posato sul suo appoggio. Vengono eseguite le seguenti azioni:

- l'elevatore viene completamente abbassato (coordinata 0),
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- il carrello viene portato completamente avanti (coordinata 1315),
- la gru viene abbassata in modo da raggiungere la camera target (coordinata 79),
- viene rilevata la presenza della camera target e viene agganciata,
- la gru viene parzialmente alzata (coordinata 64), il carrello viene portato poco indietro (coordinata 1170), la gru viene completamente alzata (coordinata 0), queste azioni sono necessarie per evitare collisioni tra componenti della camera target e del cartesiano,

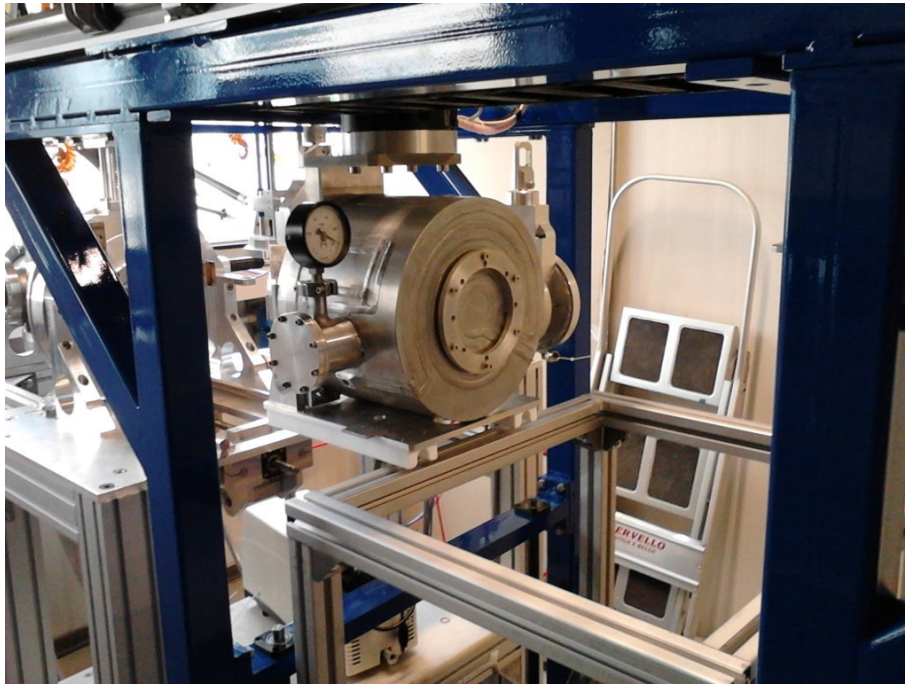


Fig. 3.13: Camera target durante il movimento

- il carrello viene portato presso il centro del cartesiano nella posizione adatta per inserire la camera target nel sarcofago (coordinata 520),
- l'elevatore viene alzato (coordinata 260),
- la gru viene completamente abbassata (coordinata 278),
- la camera target, che a questo punto è posata sul fondo del sarcofago (figura 3.14), viene sganciata,
- l'elevatore viene parzialmente abbassato (coordinata 92),
- vengono effettuate le azioni per prendere il coperchio e posizionarlo sul sarcofago, in questo caso però la sequenza si conclude con il coperchio agganciato e l'elevatore parzialmente alzato (coordinata 92).

La sequenza non prevede, alla fine, di sganciare il coperchio e abbassare nuovamente l'elevatore, allo scopo di minimizzarne la durata, dato che sarà eseguita in ambiente radioattivo.

La sequenza per il deposito della camera target sulla tavola di ammaraggio può essere avviata a partire dalla Posizione iniziale di deposito, dalla Posizione iniziale e dalla Posizione iniziale di prelievo. Vengono eseguite le seguenti azioni:

- vengono effettuate le azioni per togliere il coperchio dal sarcofago e posarlo sull'apposito sostegno,
- una volta rilasciato il coperchio e alzata la gru (coordinata 0), il carrello viene portato presso il centro del cartesiano in modo che il gancio si trovi in corrispondenza del connettore della camera target nel sarcofago (coordinata 520),
- la gru viene completamente abbassata (coordinata 278),
- l'elevatore viene alzato (coordinata 260) in modo che il gancio raggiunga la camera target,

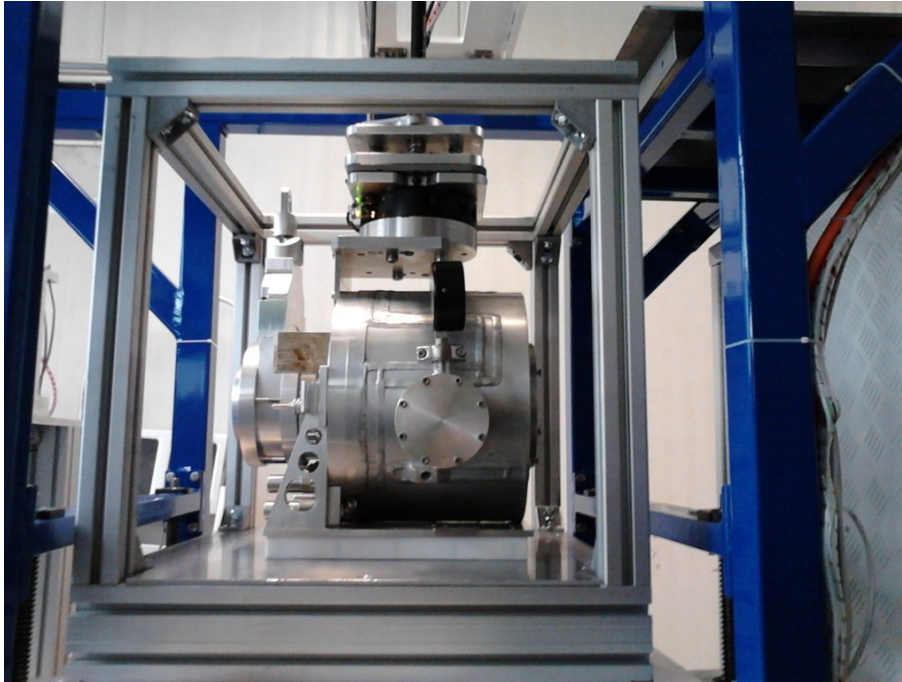


Fig. 3.14: Camera target posata sul fondo del sarcofago

- viene rilevata la presenza della camera target e viene agganciata,
- elevatore viene completamente abbassato (coordinata 0) (figura 3.15),
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- il carrello viene portato parzialmente avanti (coordinata 1170), la gru viene parzialmente abbassata (coordinata 64), il carrello viene portato completamente avanti (coordinata 1315),
- la gru viene abbassata in modo da posare la camera target sulla tavola di ammaraggio (coordinata 79),
- la camera target viene sganciata,
- la gru viene completamente alzata (coordinata 0),
- viene raggiunta la Posizione iniziale di prelievo.

Alla conclusione di ogni azione delle ultime quattro sequenze descritte, viene richiesto all'operatore il consenso per proseguire. Il consenso viene dato premendo un apposito pulsante dell'interfaccia; l'operatore può decidere di perpetuare il consenso tenendo premuto tale pulsante per 2 secondi, se poi desidera che sia di nuovo necessario dare il consenso volta per volta è sufficiente premere nuovamente il pulsante.

Le ultime quattro sequenze iniziano e terminano sempre con la gru completamente abbassata, questo per assicurare il passaggio della macchina orizzontale sotto gli stipiti delle porte del bunker.

Nelle situazioni in cui è possibile muovere in alternativa l'elevatore o la gru viene sempre utilizzata la gru in quanto il movimento dell'elevatore comporta un maggiore consumo di energia elettrica. Ad esempio, per appoggiare la camera target sul fondo del sarcofago, è possibile alzare completamente l'elevatore e abbassare parzialmente la gru, ma per consumare meno energia viene abbassata completamente la gru e alzato quanto è necessario l'elevatore.

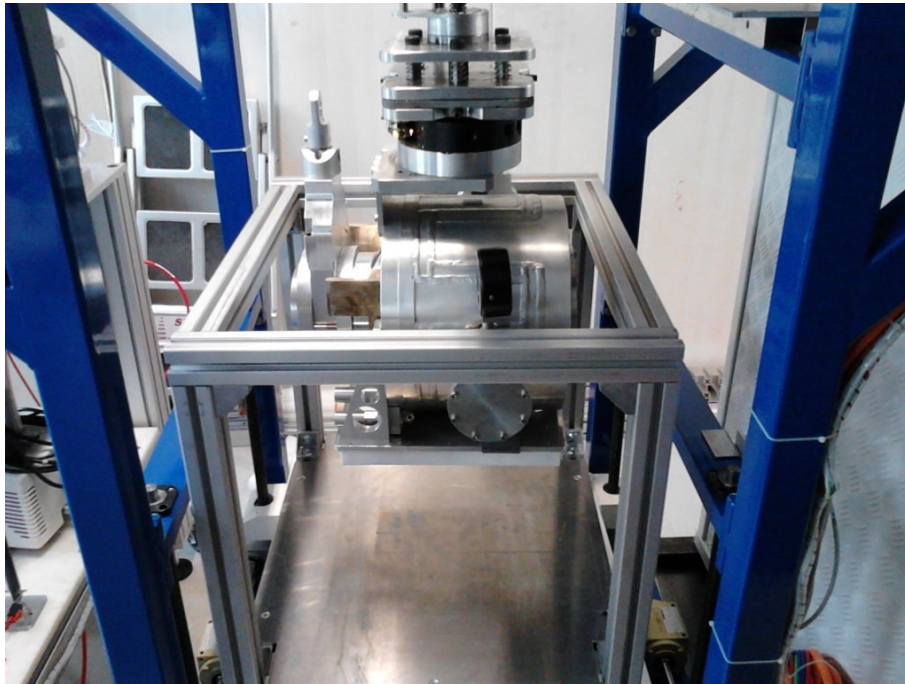


Fig. 3.15: Movimentazione della camera target

Una delle sequenze automatiche ha lo scopo di effettuare la taratura delle posizioni degli organi meccanici. Può essere avviata qualsiasi siano le posizioni degli assi elettrici, anche perché se è necessaria la sua esecuzione significa che non sono conosciute. I movimenti vengono effettuati con velocità moderate; prima l'elevatore viene portato fino al suo finecorsa negativo e a tale posizione viene assegnato il corrispondente valore numerico archiviato nella memoria del PLC, poi la gru viene portata al suo finecorsa negativo per lo stesso scopo; a questo punto il carrello viene portato a uno dei due suoi finecorsa, a scelta dell'operatore, alla cui posizione verrà associato il corrispondente valore numerico.

La sequenza automatica per l'esecuzione di uno stress test può essere selezionata se il cartesiano si trova nella Posizione iniziale, nella Posizione di carico e scarico o nella Posizione iniziale di prelievo. A seconda della posizione può essere scelto uno degli organi meccanici su cui eseguire lo stress test: sull'elevatore può essere eseguito partendo dalla Posizione iniziale di prelievo o dalla Posizione di carico e scarico, sul carrello solo partendo dalla Posizione di carico e scarico, sulla gru dalla Posizione iniziale o dalla Posizione iniziale di prelievo. Devono essere indicati il numero di cicli e la velocità dell'asse elettrico; il programma farà muovere l'organo meccanico scelto alla velocità indicata lungo quasi tutta la corsa meccanica e ritorno per il numero di volte indicato.

Nelle normali attività della macchina orizzontale è previsto che il cartesiano:

- si porti nella posizione di carico e scarico, per consentire il posizionamento del sarcofago contenente la nuova camera target sul pianale di carico, e poi si porti nella Posizione iniziale di deposito;
- esegua la sequenza per il deposito della camera target sulla tavola di ammaraggio, una volta giunto davanti al front end;
- esegua la sequenza per il prelievo della camera target, quando è passato il periodo di utilizzo;

- si porti nella posizione di carico e scarico, per consentire al sistema di movimentazione del deposito temporaneo di prendere il sarcofago, e poi si porti nella Posizione iniziale o nella Posizione iniziale di prelievo.

3.3.6 Il controllo globale

In figura 3.16 è riportato un semplice diagramma di stato che riassume i principali stati in cui può trovarsi il sistema con il programma PLC implementato. Quando non ci sono sequenze automatiche né movimenti in corso è possibile scegliere tra modalità automatica e manuale. Nella prima è possibile scegliere la sequenza automatica da eseguire, avviarla, interromperla, riprenderla o uscire. Nella seconda è possibile scegliere il modo in cui muovere ogni asse elettrico, avviare un movimento, interromperlo, e controllare le azioni di aggancio e sgancio del gancio.

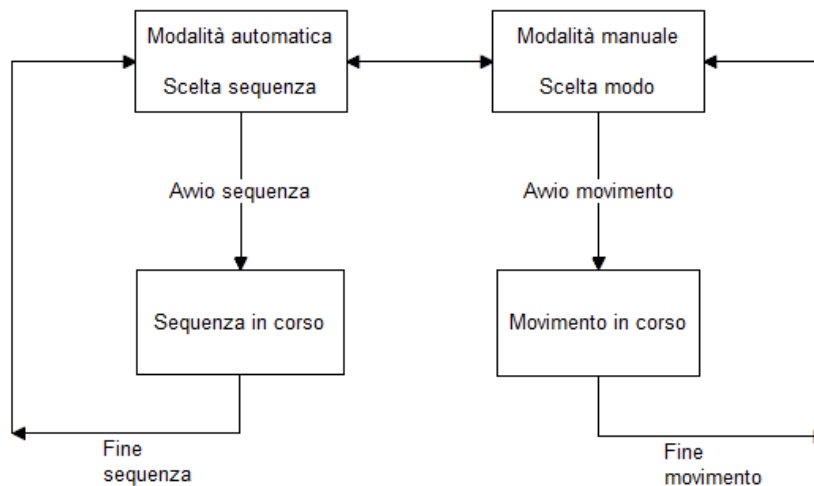


Fig. 3.16: Diagramma di stato relativo al controllo globale del sistema

3.3.7 Gli output

Il programma consente al PLC di comunicare, attraverso le interfacce di controllo, diverse informazioni relative al sistema corrispondenti a variabili numeriche e booleane. Vengono comunicate posizione, posizione memorizzata per la taratura, velocità, corrente erogata, coppia, relative ad ogni asse elettrico e lo stato del collegamento, dell'erogazione di potenza e l'eventuale generazione di un errore di ogni azionamento. È comunicato inoltre, per ogni asse elettrico, se la posizione è conosciuta (tarata), se l'asse è fermo o in moto e lo stato della funzione arresto di emergenza.

Vengono riportate informazioni relative al gancio Schunk ricavate dai suoi sensori: lo stato, agganciato o sganciato, e la presenza o l'assenza di un oggetto che è possibile agganciare, o un'eventuale incongruenza nei segnali da cui è ricavata tale informazione (provenienti dai connettori NC e NO dello switch).

Sono riportate le informazioni relative alla modalità di controllo selezionata, al modo selezionato per ogni asse elettrico e, quando il sistema è in modalità automatica, alla sequenza selezionata e al suo stato; in particolare, quando nessuna sequenza è in corso, viene indicato se l'ultima eseguita è stata portata a termine con successo.

3.4 Conclusioni

In questo capitolo è stata illustrata la configurazione dei parametri degli azionamenti dei motori elettrici e il software implementato nel PLC.

I parametri degli azionamenti sono stati impostati per permettere il corretto funzionamento dei movimenti del cartesiano; alcuni di essi sono stati stabiliti in base esigenze di sicurezza, altri in relazione a scelte fatte per fini pratici, altri ancora in base ai risultati di opportuni calcoli, dipendenti dalle caratteristiche del sistema.

Il programma del PLC è stato sviluppato per permettere ad un operatore di avere il completo controllo sul sistema e per consentire l'esecuzione in modo autonomo delle operazioni per cui l'apparato è stato progettato. Nel prossimo capitolo saranno illustrate le interfacce realizzate per consentire ad un operatore di interagire agevolmente con il PLC.

Le interfacce di controllo

4.1 Introduzione

Come spiegato il programma del PLC regola l'esecuzione delle operazioni del sistema in base ai comandi ricevuti da un operatore, che può inviarli mediante un'interfaccia, la quale è utilizzata anche per ricevere informazioni sull'apparecchiatura. Sono implementate due interfacce basate su due piattaforme. Una è di supervisione, SCADA, che consente la lettura e la memorizzazione delle informazioni operative e permette di controllare la macchina da una postazione remota utilizzando un computer. L'altra è l'interfaccia uomo macchina, HMI, che consente il controllo del sistema, oltre alla visualizzazione di informazioni sul suo stato, tramite un pannello touchscreen collocato nelle vicinanze del cartesiano.

In questo capitolo saranno illustrate queste due interfacce. Entrambe comunicano con il PLC leggendo le sue variabili e intervenendo su di esse in scrittura. Questo è possibile attraverso la rete Modbus TCP/IP, fornendo alle interfacce l'indirizzo IP del PLC e gli indirizzi di memoria delle variabili utilizzate a tale scopo. È stato quindi necessario assegnare un indirizzo di memoria a tutte le variabili utilizzate nel PLC come input e come output, come ad esempio quelle definite perché il loro valore sia comandato mediante pulsanti o quelle che contengono i valori delle posizioni degli organi meccanici.

4.2 L'interfaccia SCADA

Nell'ambito dei controlli automatici, l'acronimo SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition, controllo di supervisione e acquisizione dati, indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio elettronico di sistemi fisici. Tipicamente, i sistemi di tipo SCADA, sono utilizzati in ambito industriale per il controllo infrastrutturale o di processi industriali e per il monitoraggio. L'acquisizione dati è funzionale all'osservazione dell'evoluzione del processo e allo svolgimento delle funzioni di supervisione e controllo.

Nell'ambito del progetto SPES sarà utilizzato un sistema SCADA per la gestione da remoto di molte operazioni. In questo modo sarà possibile controllare da un'unica postazione tutti gli apparati in funzione all'interno del bunker, connessi a una rete dati basata sul protocollo Modbus TCP/IP.

Permettendo di forzare dall'esterno le variabili interne del PLC l'interfaccia consente, se necessario, di intervenire su di esso anche a basso livello. L'interfaccia SCADA permette di ottenere un gran numero di informazioni e di memorizzarle, dato che, essendo implementata su un computer, non ha i limiti di memoria del PLC.

Per la realizzazione dell'interfaccia di controllo del cartesiano, come per gli altri sistemi, è stato utilizzato l'ambiente di sviluppo Vijeo Citect, messo a disposizione da Schneider, pienamente compatibile con il PLC.

L'ambiente di programmazione di Vijeo Citect è composto da tre parti: un gestore di progetti, che consente di tenere traccia di tutte le attività realizzate e di ogni oggetto presente nel progetto stesso, uno strumento di sviluppo grafico, per realizzare le pagine dell'interfaccia, un editor utilizzato per definire le variabili e le altre caratteristiche del sistema (figura 4.1).

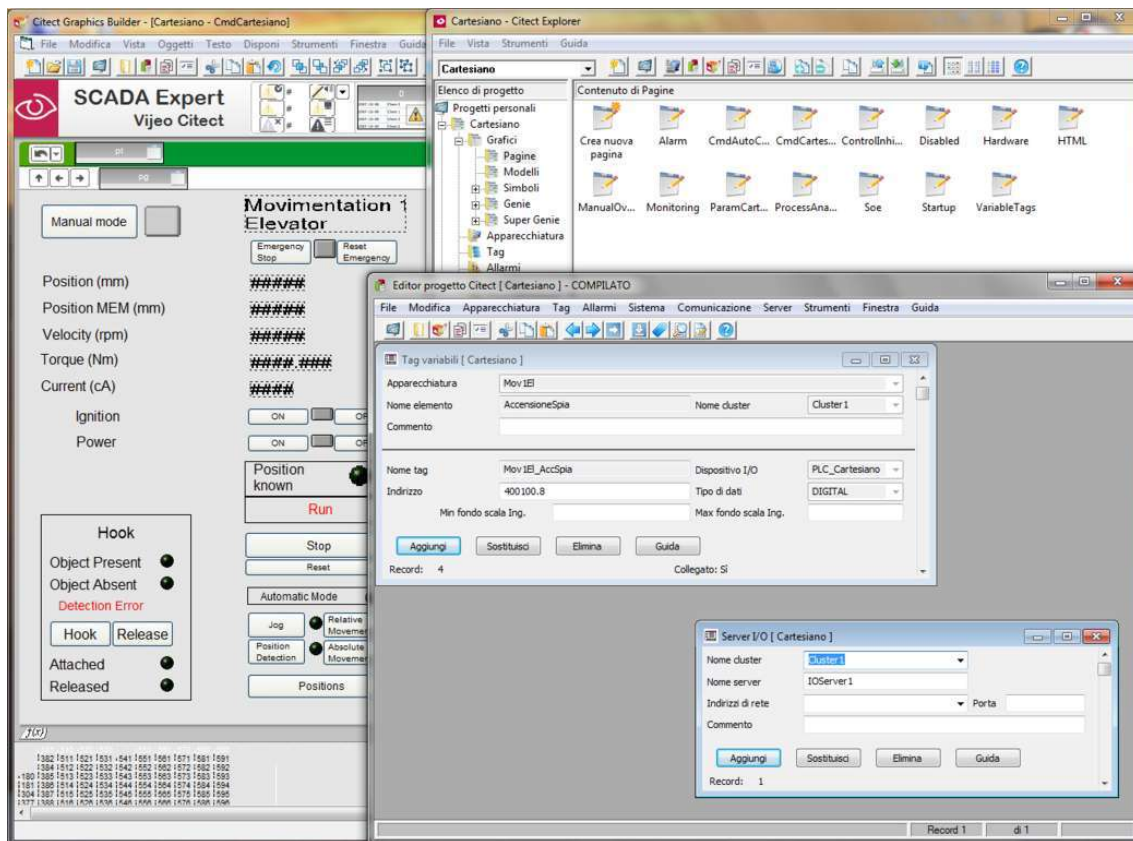


Fig. 4.1: Software Vijeo Citect

4.2.1 La comunicazione tramite variabili

Perché l'interfaccia SCADA possa leggere e scrivere le variabili del PLC, è necessario che la comunicazione tra i due sia configurata e che all'interno dello SCADA siano definite delle variabili associate, mediante l'indicazione degli indirizzi di memoria, a quelle del PLC su cui si deve agire.

Il sistema SCADA può lavorare con molti dispositivi presenti in un impianto, è possibile suddividerli in gruppi (cluster) che identificano le varie aree delle strutture che devono essere controllate. Il cartesiano, nella fase di test, è l'unico dispositivo associato, quindi viene generato un singolo cluster su cui è impostata una singola opzione di comunicazione. Questa struttura di comunicazione è definita utilizzando una procedura guidata per l'impostazione dei parametri che determina (figura 4.2):

- una scheda di comunicazione di tipo TCP/IP (Board1) che non richiede altri parametri per essere utilizzata;
- la porta relativa alla scheda con i parametri relativi alla comunicazione Modbus TCP/IP (PORT1_BOARD1), è specificata una stringa di configurazione (-I84.15.92.216 -P502 -T) per indicare l'indirizzo IP del PLC (84.15.92.216), la porta di comunicazione del PLC (502) e la tipologia di trasmissione dati TCP (T);
- un cluster per il cartesiano (Cluster1);
- un server di I/O associato al cluster (IOServer1);
- un dispositivo di I/O che identifica il PLC associato al server (PLC.Cartesiano), basato su protocollo Modnet (Modbus TCP/IP) e associato alla porta di comunicazione della scheda TCP/IP.

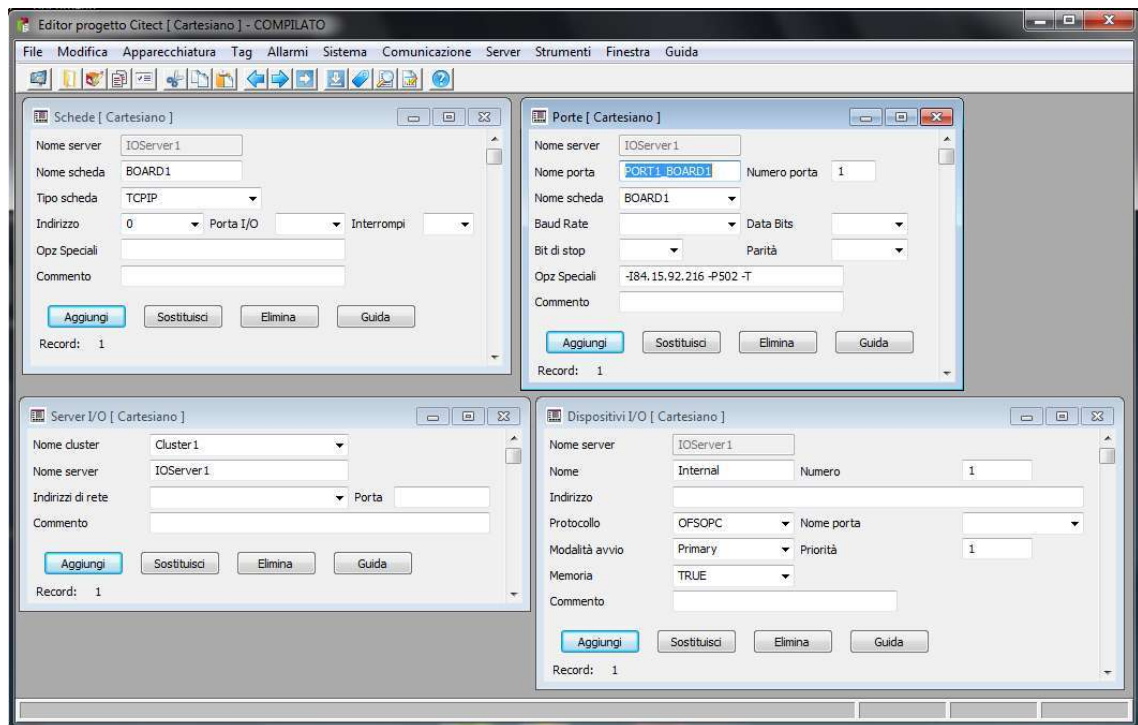


Fig. 4.2: Impostazioni dei parametri di comunicazione

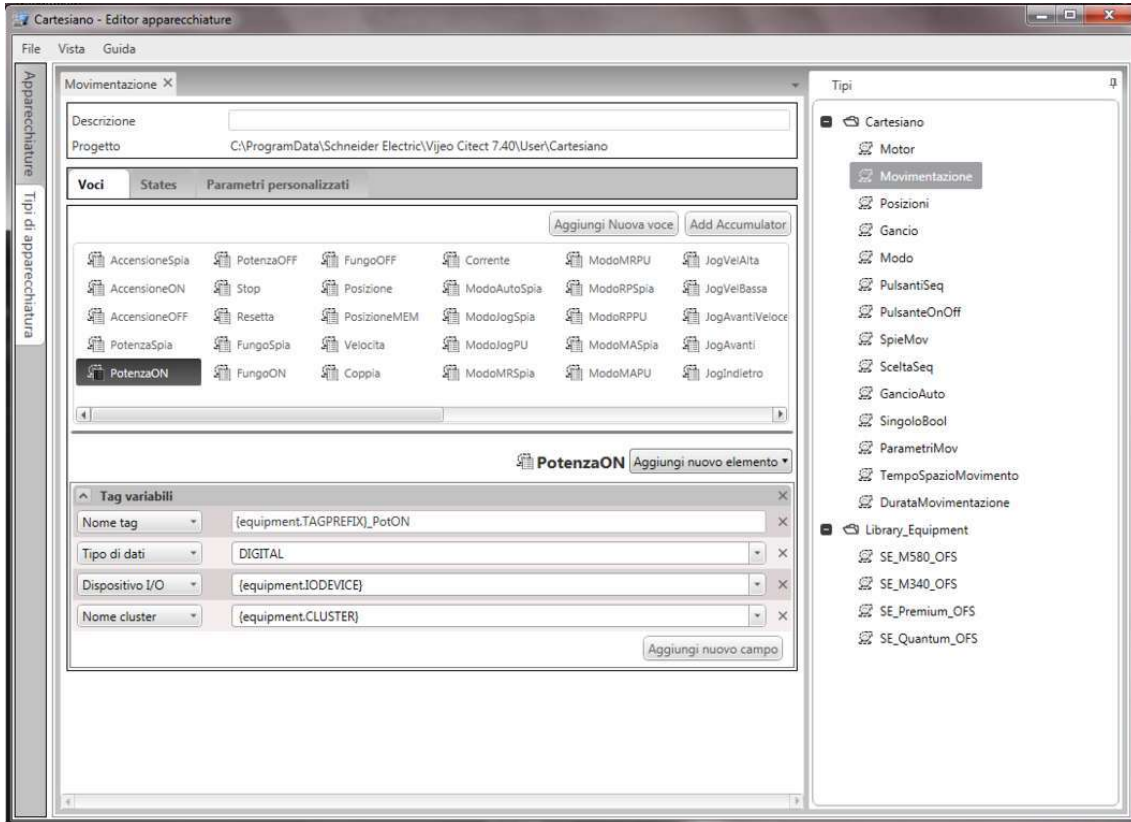
In questo modo per generare le variabili dell'interfaccia, chiamate tag in Vijeo Citect, associate alle variabili del PLC, è sufficiente collegare la tag al dispositivo definito e indicare l'indirizzo della variabile da associare.

Una particolarità di Vijeo Citect è che permette di definire dei tipi di apparecchiature utilizzate nel sistema, rendendo possibile l'applicazione di oggetti con caratteristiche comuni a partire da una base definita singolarmente, che sarà poi ripetuta differenziando i tag associati ad ogni oggetto, in modo simile, ma più limitato, alla definizione di tipi struttura usata nella maggior parte dei linguaggi di programmazione.

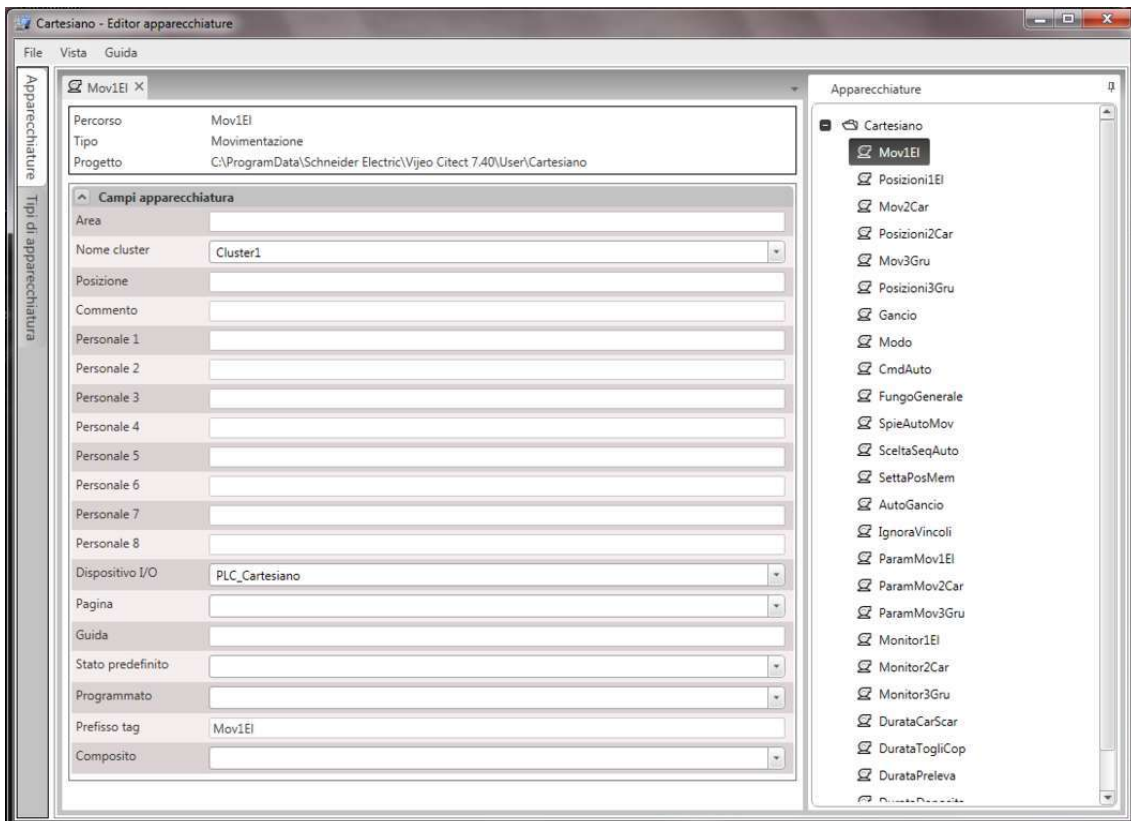
Per realizzare il sistema di controllo SCADA devono essere definiti i tipi di apparecchiature e le apparecchiature mediante l'apposito strumento di gestione chiamato editor apparecchiature (figura 4.3). Sono stati definiti diversi tipi di apparecchiature, il principale è il tipo Movimentazione che riporta i parametri relativi al controllo di un azionamento, similmente al tipo strutturato usato nel programma del PLC per gli ingressi e le uscite del blocco funzione Movimentazione.Asse.

L'editor contiene nella colonna di destra tutti i tipi di apparecchiatura definiti, mentre nella parte centrale sono riepilogate le voci che definiscono i tag da associare alle variabili del PLC. Nella parte inferiore dell'editor, per ogni voce è possibile definire una serie di caratteristiche: il nome del tag, il dispositivo di I/O associato, il cluster, il tipo di dati e altre. Questi campi possono essere compilati inserendo una parte generale comune a tutti i dispositivi e una funzione che identifica il singolo dispositivo. Ad esempio per il nome della tag che identifica il pulsante che attiva l'erogazione di potenza a un motore è stato scritto {equipment.TAGPREFIX}_PotON, dove la parte tra parentesi graffe è la funzione che indica l'inserimento di un prefisso che identifica la singola apparecchiatura, e il resto è una parte di nome comune a tutti i tag di quel tipo. Nella scheda Apparecchiature si può definire quante apparecchiature di un certo tipo generare e i campi dati specifici di ognuna di esse.

Al termine della definizione di questi parametri, vengono generati tutti i tag che è necessario associare alle variabili del PLC. Inserendo nei campi apparecchiatura il dispositivo



(a) Scheda Tipi di apparecchiature



(b) Scheda Apparecchiature

Fig. 4.3: Editor apparecchiature

di I/O, ogni tag generato è già predisposto per essere collegato al PLC; è poi necessario associare ad ogni tag l'indirizzo che permette di collegarlo alla relativa variabile. Questa operazione è attuabile utilizzando le finestre di modifica dell'editor di progetto, che consentono di agire su ogni singolo tag definito (figura 4.4).

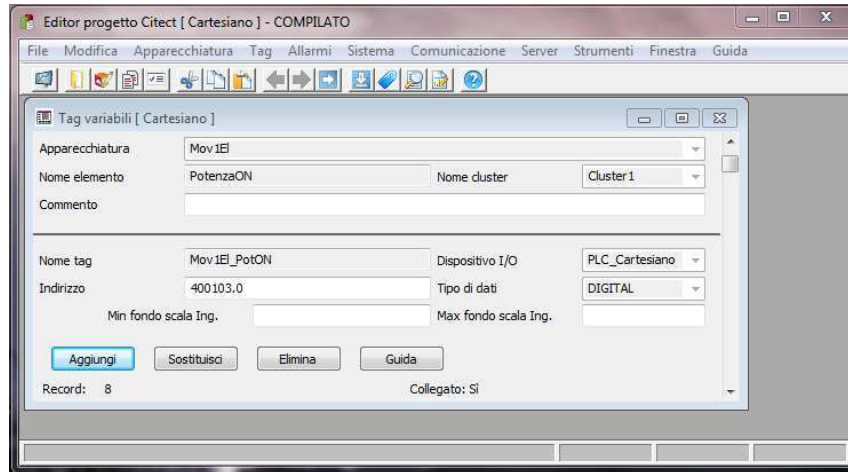


Fig. 4.4: Tag del pulsante per l'attivazione dell'erogazione di potenza al motore dell'elevatore

Oltre alle tag utilizzati per le variabili del PLC, è anche possibile definire tag interne all'interfaccia oppure di altro tipo, ad esempio tag allarmi. Nel sistema del cartesiano questa possibilità è stata usata per tenere traccia dei movimenti effettuati dagli organi meccanici e delle sequenze automatiche eseguite. Sono state associate tag allarmi alle variabili che identificano lo stato, fermo o in movimento, degli assi elettrici e a quelle che indicano se è in corso una sequenza automatica e quale; in questo modo lo SCADA memorizza data e ora in cui ogni movimento e ogni sequenza automatica sono iniziati e terminati e lo segnala in un'apposita schermata (figura 4.5).

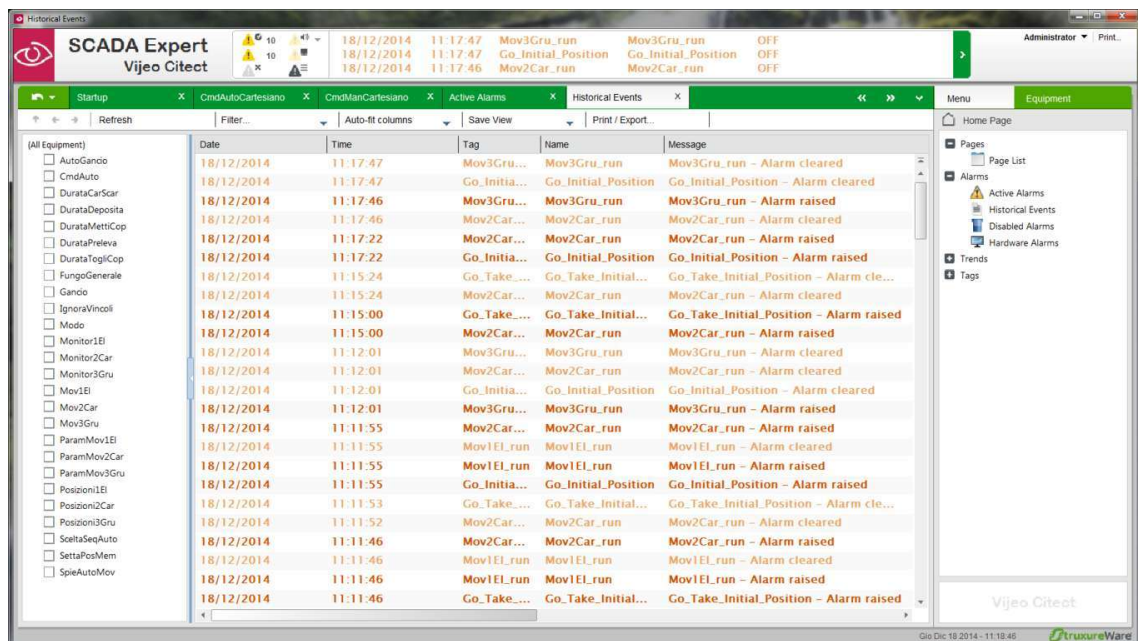


Fig. 4.5: Schermata allarmi

4.2.2 L'interfaccia grafica

Per controllare il sistema mediante lo SCADA l'operatore utilizza un'interfaccia grafica composta da diverse pagine. Vijeo Citect permette di utilizzare delle pagine predefinite, che contengono le informazioni disponibili, selezionabili da un menu ad albero (figura 4.6 a destra). Possono essere definite altre pagine al cui interno è possibile inserire oggetti aventi determinate funzioni utili per attuare il controllo del sistema. Ogni oggetto inserito dispone di una finestra di proprietà in cui è possibile indicare le tag a cui fa riferimento e una vasta gamma di opzioni, sia grafiche, sia relative all'azione che deve gestire (figura 4.7). Le azioni sono definibili applicando opzioni di controllo predefinite oppure utilizzando alcune righe di codice (Cicode).

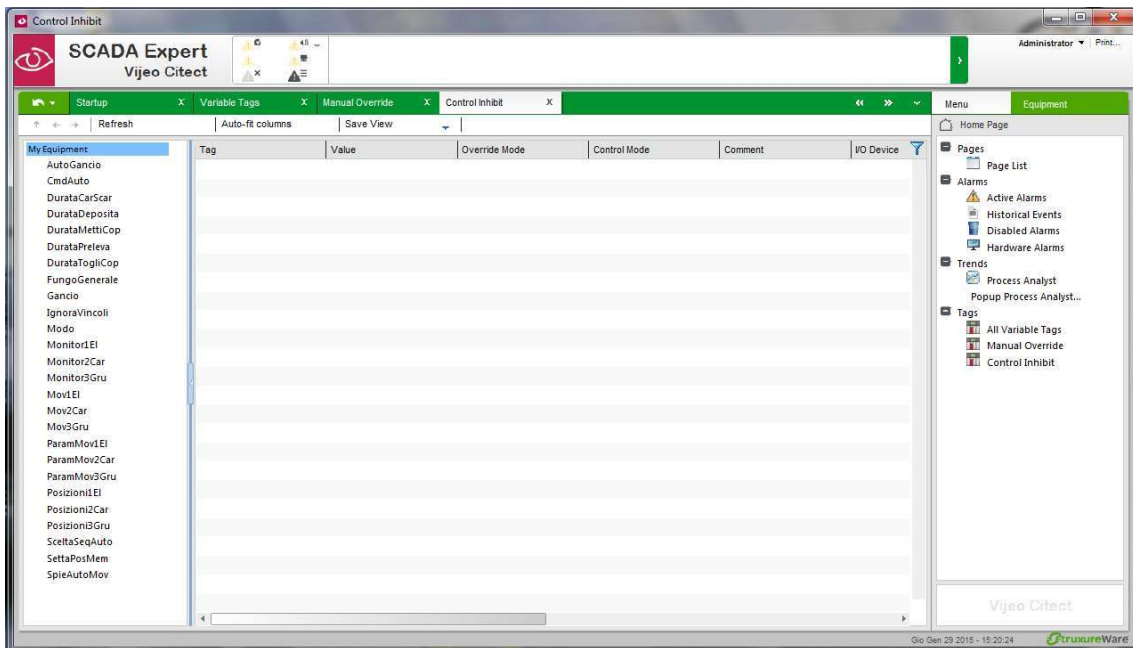


Fig. 4.6: Finestra dell'interfaccia grafica SCADA

Ci sono molti tipi di oggetti che possono essere inseriti nell'interfaccia grafica come ad esempio pulsanti e spie; esistono anche oggetti particolari detti genie. Una genie è un insieme di oggetti standardizzato che può essere inserito in una pagina o all'interno di un'altra genie. Gli oggetti che compongono una genie fanno riferimento a tag generiche che devono essere messe in corrispondenza con le particolari tag utilizzate in ogni istanza della genie.

A una genie può essere associata una supergenie; si tratta di una finestra a sé stante standardizzata che può contenere oggetti e che durante l'utilizzo dell'interfaccia grafica può essere aperta agendo su un oggetto della genie. Anche gli oggetti di una supergenie fanno riferimento a tag generiche che sono messe in correlazione con quelle della genie a cui è associata.

L'interfaccia grafica che è stata realizzata per il controllo del cartesiano è composta da quattro pagine, in aggiunta a quelle predefinite. Una pagina è predisposta per il controllo nella modalità manuale, un'altra per il controllo nella modalità automatica, una serve per agire sui parametri degli azionamenti nella modalità manuale, una per monitorare le durate dei movimenti degli assi elettrici e delle sequenze automatiche, e gli spazi percorsi dagli organi meccanici.

La pagina per il controllo manuale (figura 4.8) contiene tre istanze di una genie utilizzata per il controllo di un azionamento. Tale genie contiene a sua volta cinque genie associate ad altrettante supergenie: una contiene i comandi per controllare il movimento

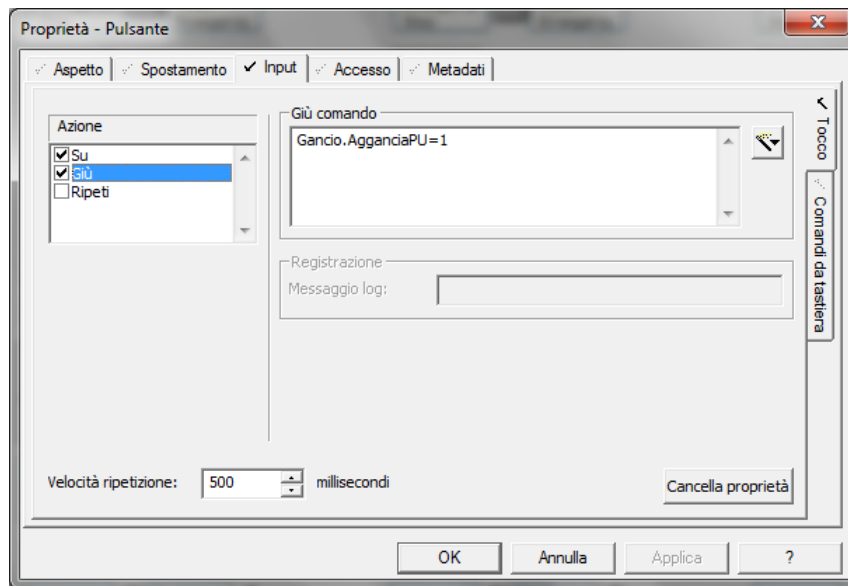


Fig. 4.7: Finestra di proprietà del pulsante per l'azione di aggancio nella modalità manuale

nel modo jog (figura 4.9.a), una per i movimenti relativi, un per i movimenti assoluti, una per i movimenti assoluti verso posizioni predefinite (figura 4.9.b), una per il rilevamento della posizione. La genie per il controllo di un azionamento contiene anche semplici pulsanti e spie necessari per il suo utilizzo, inoltre riporta le varie informazioni relative all'asse elettrico anche sotto forma di valori numerici. La pagina per il controllo manuale contiene anche oggetti relativi al controllo del gancio, alla scelta della modalità manuale e altri.

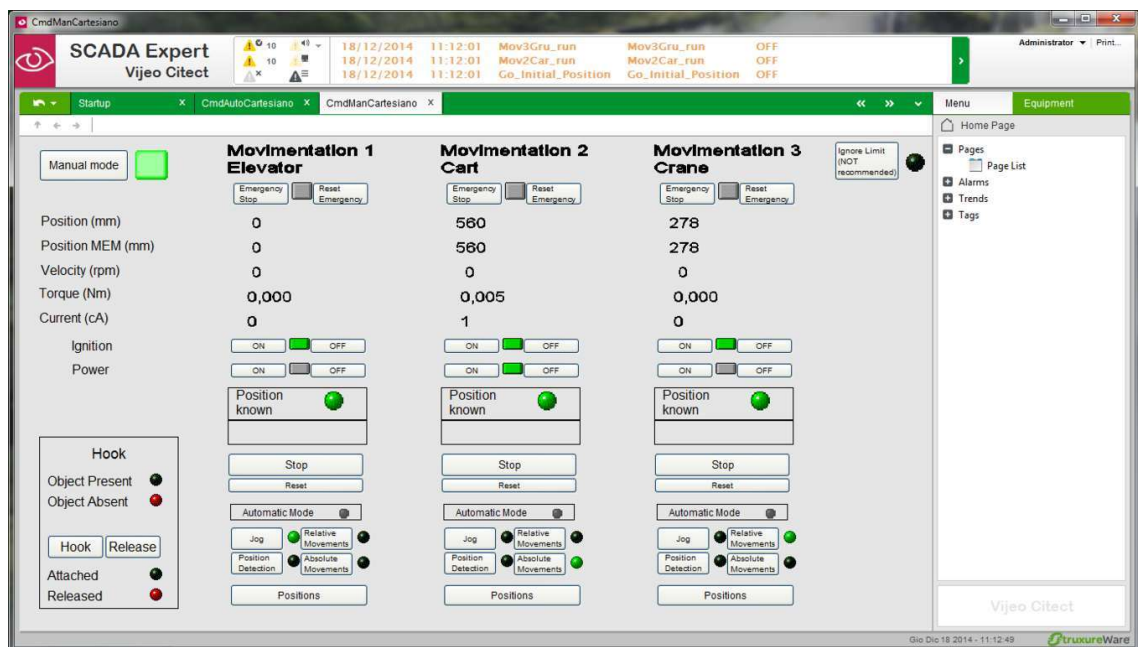


Fig. 4.8: Pagina dell'interfaccia grafica SCADA per il controllo manuale

La pagina per il controllo delle movimentazioni automatiche (figura 4.10) contiene tutti i pulsanti e le spie utili al controllo delle sequenze automatiche e nessuna genie. Tra gli altri ci sono i pulsanti per selezionare la sequenza automatica e avviarla, interromperla, uscire, e le spie per indicare la sequenza scelta e il suo stato; una delle spie assume diversi

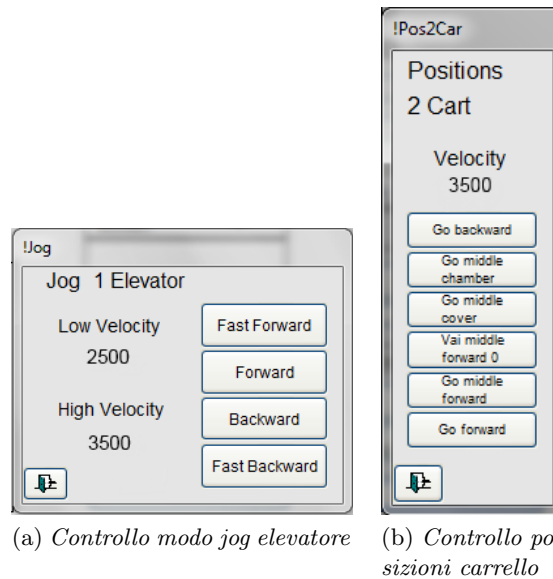


Fig. 4.9: Finestre supergenie

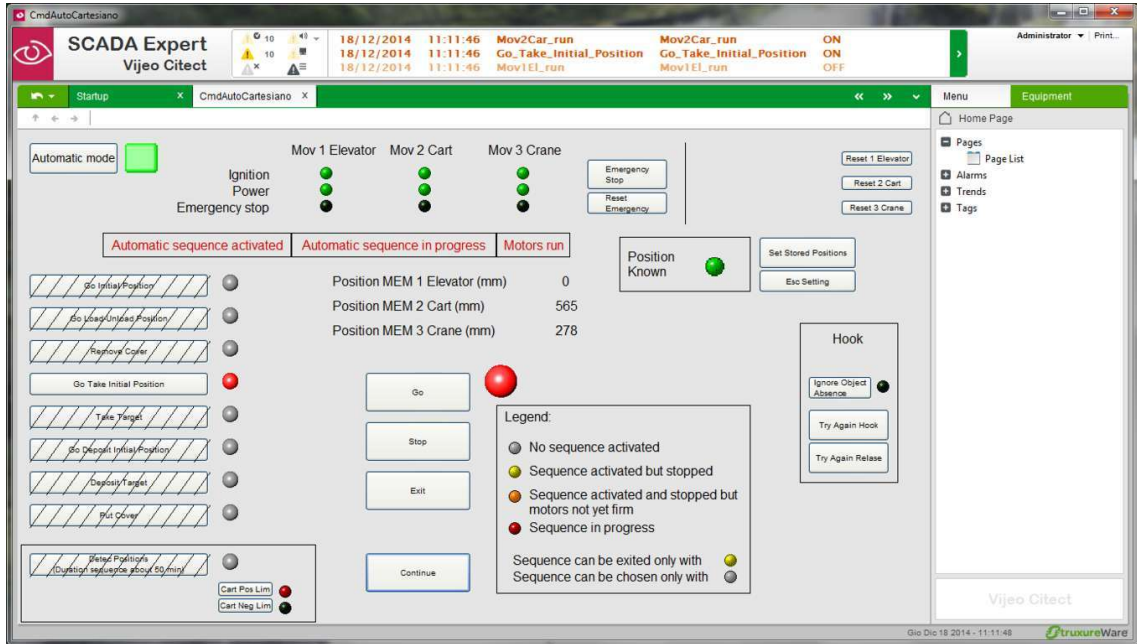
colori a seconda dello stato della sequenza ed è presente una legenda per illustrare il loro significato. È presente il pulsante per selezionare la modalità automatica e sono riportati i valori numerici delle posizioni degli organi meccanici. La pagina contiene anche diversi altri pulsanti e spie utili al controllo nella modalità automatica.

La pagina che permette di agire sui parametri degli azionamenti (figura 4.11) contiene, per ogni azionamento, un'istanza di una genie atta allo scopo. Tale genie permette lettura e scrittura dei parametri, in particolare accelerazione e decelerazione. Infatti una parte della genie è composta dai campi di immissione e per la lettura dei valori di accelerazione e decelerazione e dai pulsanti per effettuarne il settaggio e leggerli; l'altra parte, che può essere usata per qualsiasi parametro, contiene anche i campi di immissione per inserire indice e subindice per la sua identificazione. È presente anche il pulsante per effettuare il salvataggio dei parametri persistenti in modo da rendere le modifiche permanenti.

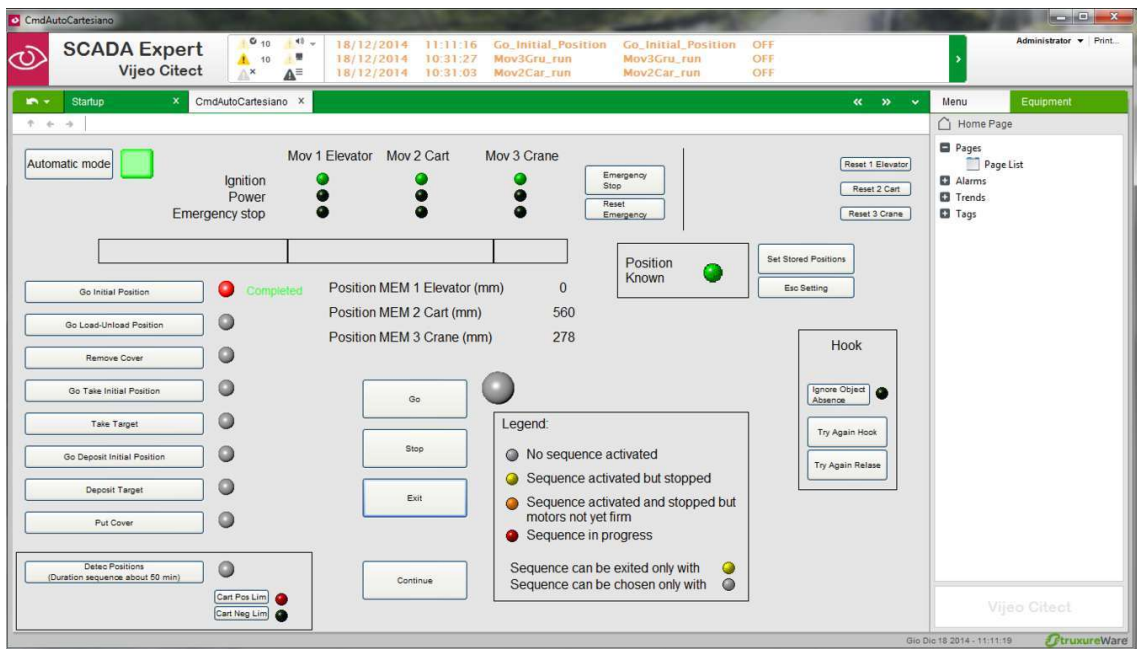
La pagina che permette di monitorare le durate dei movimenti degli assi elettrici e delle sequenze automatiche, e lo spazio percorso dagli organi meccanici e il numero delle rotazioni dei motori, contiene diversi campi in cui sono riportati i valori numerici delle grandezze citate (figura 4.12).

Per utilizzare le quattro pagine descritte è necessario per l'operatore effettuare un login, che può essere eseguito con due tipi di account: utente e amministratore. L'utente può utilizzare solo le pagine per il controllo delle sequenze automatiche e per il monitoraggio delle durate e degli spostamenti dei movimenti, l'amministratore può utilizzarle tutte.

Una delle pagine predefinite, chiamata Process analyst, può essere configurata in modo da mostrare su un grafico e memorizzare l'andamento dei valori di alcune variabili del PLC nel tempo; questa funzionalità viene utilizzata per monitorare alcune grandezze del sistema come la velocità degli assi elettrici e la coppia erogata dai motori (figura 4.13).



(a) Durante l'esecuzione di una sequenza automatica



(b) Con nessuna sequenza in corso

Fig. 4.10: Pagina dell'interfaccia grafica SCADA per il controllo delle movimentazioni automatiche

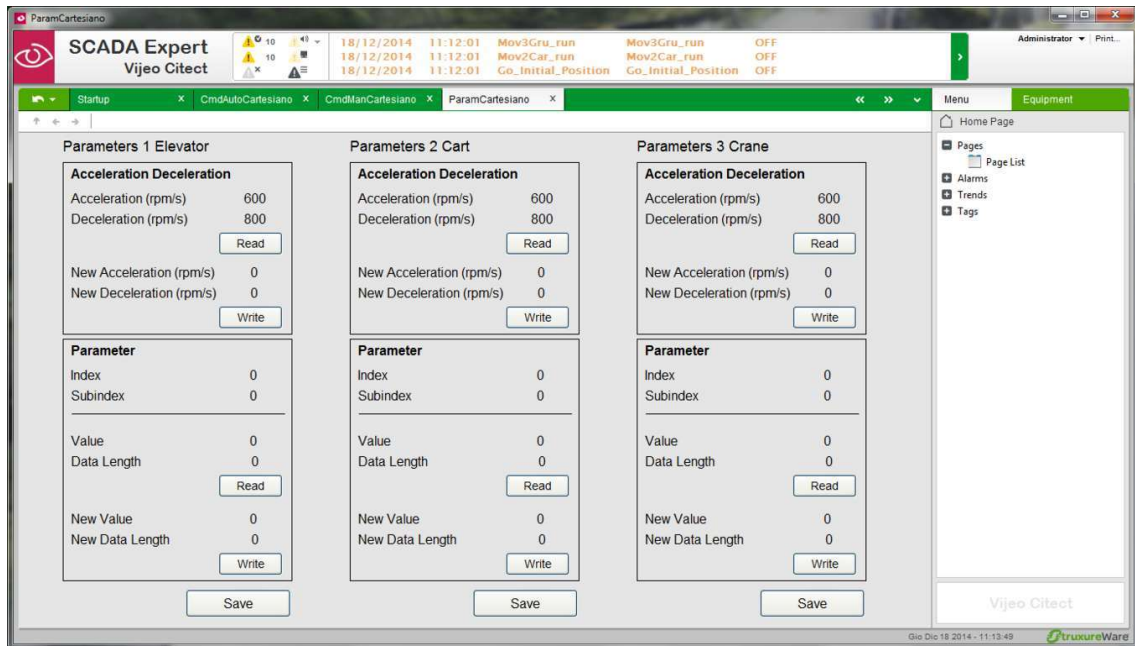


Fig. 4.11: Pagina dell'interfaccia grafica SCADA per la lettura e la scrittura dei parametri degli azionamenti

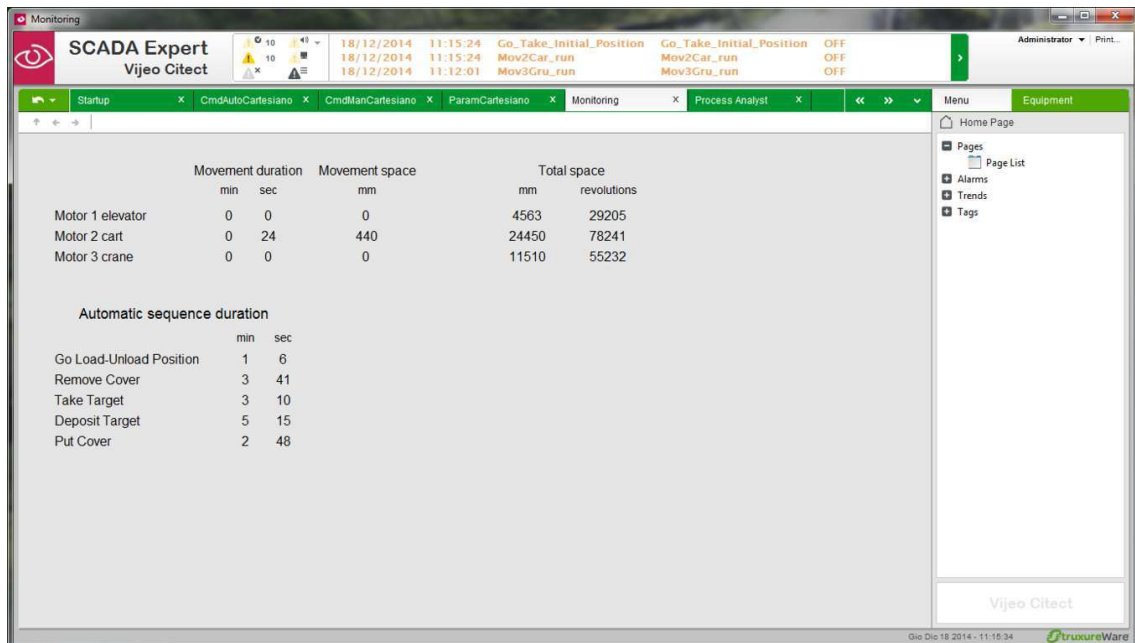


Fig. 4.12: Pagina dell'interfaccia grafica SCADA per il monitoraggio delle durate e degli spostamenti delle movimentazioni

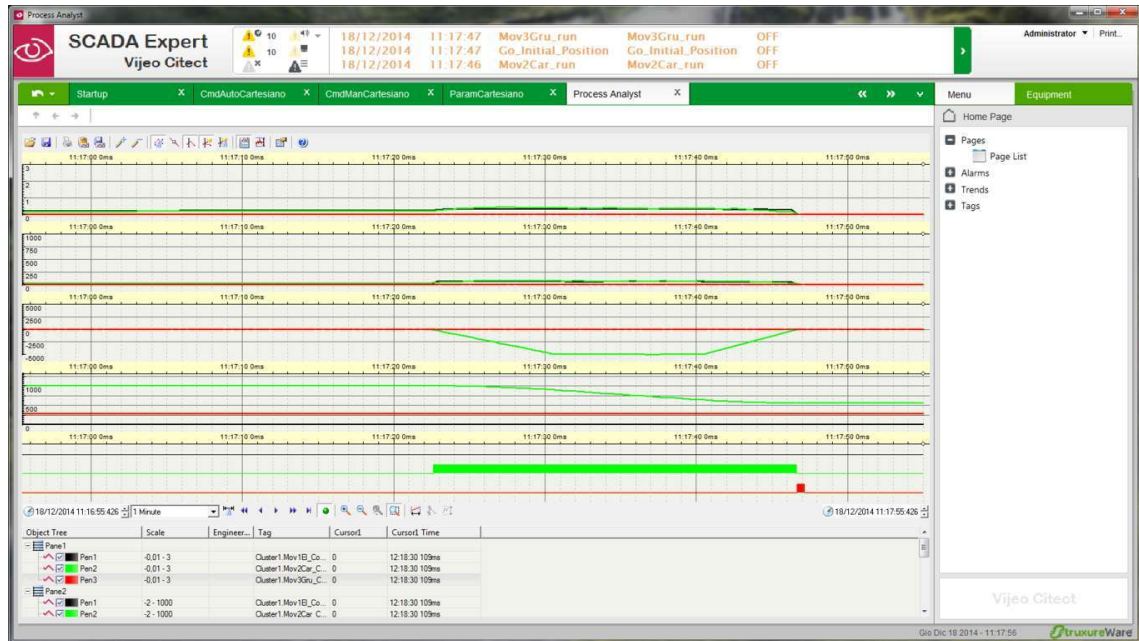


Fig. 4.13: Pagina Process analyst dell'interfaccia grafica SCADA

4.3 La HMI

L'interfaccia uomo macchina, HMI, Human Machine Interface, è un dispositivo che consente ad un essere umano di interagire con una macchina, ovvero riporta informazioni sul suo stato e permette all'operatore di dare comandi.

Il sistema del cartesiano, nella fase di test, è connesso alla stessa interfaccia uomo macchina che controlla anche il sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio. Si tratta di un pannello touchscreen Schneider Magelis XBT GT 5330 (Figura 4.14); ha un display TFT LCD da 10,4" con una risoluzione VGA (640x480 pixel), una CPU da 266 MHz e una memoria interna che consente di memorizzare il programma che regola il funzionamento dell'interfaccia. Il pannello è dotato di connessioni ethernet, RS232 e USB. Per il collegamento al PLC del cartesiano è utilizzata la connessione ethernet con protocollo Modbus TCP/IP. Le porte USB sono predisposte per collegare altri dispositivi quali tastiere, sistemi di puntamento, memorie supplementari o stampanti.

Per l'impostazione del software che regola il funzionamento dell'interfaccia è stato utilizzato l'ambiente di sviluppo Vijeo Designer di Schneider. Esso permette di configurare dettagliatamente il funzionamento del pannello touchscreen, disegnando le varie schermate dell'interfaccia e definendo la logica di funzionamento. Il software di sviluppo mostra un albero di progetto che permette di definire la configurazione dei dispositivi associati al pannello, sia dal punto di vista della comunicazione hardware che della gestione delle variabili, e permette inoltre di realizzare tutti gli oggetti utilizzabili dall'operatore come schermate di comando, popup, pulsanti, spie, disegnandoli e definendo le operazioni e le variabili associate ad ogni elemento (figura 4.15).

Lo scopo della configurazione dell'interfaccia è quello di rendere disponibili all'operatore un gran numero di informazioni provenienti dal PLC e tutti i comandi necessari al controllo del sistema. Per realizzare il programma della HMI e rendere l'interfaccia funzionante devono essere seguiti alcuni passi che permettono di configurarla correttamente per un funzionamento ottimale:

- modificare un progetto esistente o crearne uno nuovo inserendo il tipo di pannello touchscreen utilizzato;



Fig. 4.14: Pannello touchscreen HMI

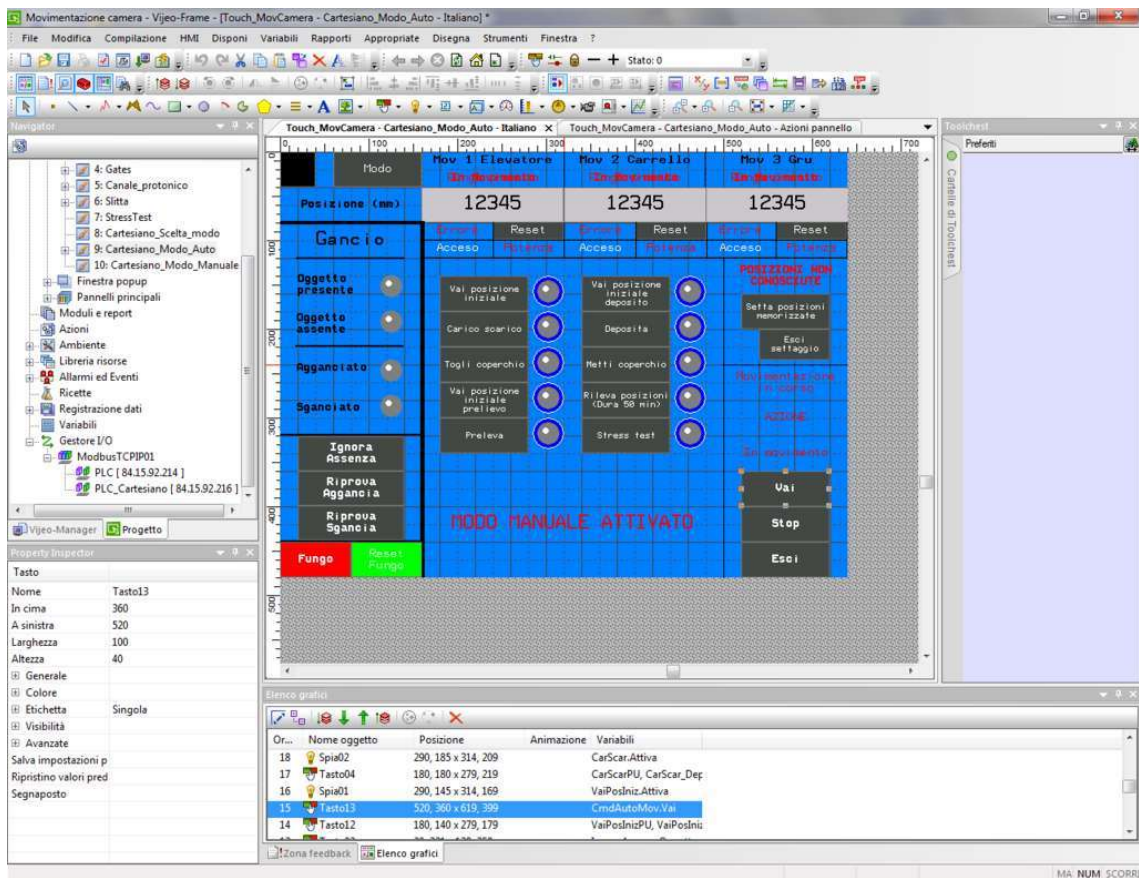


Fig. 4.15: Schermata del software di sviluppo Vijeo Designer

- configurare i parametri di comunicazione col PLC;
- disegnare i pannelli di comando;
- compilare il progetto;
- caricare ed eseguire il programma nel pannello touchscreen.

4.3.1 La comunicazione tra HMI e PLC

Per connettere il computer su cui viene utilizzato l'ambiente di sviluppo dell'interfaccia alla HMI e la HMI al PLC è necessario definire all'interno di Vijeo Designer i parametri che servono per mettere in comunicazione i dispositivi. La comunicazione è realizzata per mezzo della rete ethernet; il pannello touchscreen ha indirizzo IP 84.15.92.215 e il PLC 84.15.92.216. Dopo l'inserimento degli indirizzi IP nei parametri di configurazione del progetto di Vijeo Designer è possibile realizzare una connessione tra i dispositivi basata su Modbus TCP/IP.

Nell'ambiente di sviluppo devono essere inoltre inseriti gli indirizzi di memoria delle variabili del PLC utilizzate dalla HMI. Questa operazione è semplificata grazie ad una procedura automatica di importazione delle variabili, e dei loro indirizzi, dal file che contiene il programma del PLC scritto con Unity Pro. Da questo file è possibile selezionare le variabili necessarie e integrarle in Vijeo Designer per poterle applicare ai vari oggetti. Questa procedura non permette tuttavia di importare le variabili strutturate comportando la necessità di definire variabili con gli indirizzi voluti all'interno dell'ambiente di sviluppo. L'inserimento di indirizzi di memoria per le variabili della HMI comporta l'associazione delle stesse a determinate locazioni della memoria del PLC. Quando il programma è in esecuzione nel pannello touchscreen le azioni intraprese agiscono sulla memoria del PLC leggendo o scrivendo le variabili indicate, come avviene con l'interfaccia SCADA.

L'elenco delle variabili è visibile in una pagina dedicata, a titolo di esempio ne viene riportata una parte in figura 4.16.

	Nome	Tipo di dati	Sorgente dati	Gruppo di s...	Indirizzo dispos...
1	AutoConsensoContinuo	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW781:X0
2	AutoConsensoRichiesto	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW780:X8
3	AutoConsensoPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW780:X0
4	iST	INT	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW777
5	nST	INT	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW776
6	ST_Velocita	UDINT	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW774
7	StressTest3Gru	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW772:X8
8	ST_3GruPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW772:X0
9	StressTest2Car	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW771:X8
10	ST_2CarPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW771:X0
11	StressTest1EI	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW770:X8
12	ST_1EI	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW770:X0
13	IgnoraAssenzaOggetto	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW761:X0
14	AutoSganciaPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW760:X8
15	AutoAgganciaPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW760:X0
16	StressTestCartesiano.Compl	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW756:X8
17	StressTestCartesiano.Attiva	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW755:X0
18	StressTestPU	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW754:X0
19	RilPos2Car_LIMN	BOOL	Esterno	PLC_Cartesiano	%MW753:X0

Fig. 4.16: Parte dell'elenco di variabili della HMI

4.3.2 La struttura dell'interfaccia

L'utilizzo del software dell'interfaccia è organizzato mediante schermate dette pannelli; per il controllo del cartesiano è stato realizzato un pannello principale, i cui elementi sono sempre visibili (figura 4.17) e tre pannelli secondari, gli elementi di un pannello secondario sono visibili quando questo è attivo, assieme a quelli del pannello principale. Quando il pannello principale è attivo è sempre attivo anche uno dei pannelli secondari.

Il pannello principale contiene oggetti, associati ad apposite variabili, atti a visualizzare varie informazioni sugli assi elettrici, come la posizione e lo stato dell'erogazione di potenza, e quelle ricavate dai sensori del gancio. Contiene inoltre i pulsanti per resettare eventuali errori degli azionamenti, per attivare e resettare l'arresto di emergenza, e per attivare uno dei pannelli secondari, il quale permette la scelta della modalità di controllo del sistema.

L'interfaccia per il controllo del cartesiano è stata aggiunta nel progetto di quella, già esistente, per il controllo del sistema di movimentazione della tavola di ammaraggio. Per questo motivo il pannello principale contiene anche, nell'angolo in alto a sinistra, un pulsante (il quadrato nero) che attiva il pannello principale per il controllo della tavola di ammaraggio disattivando quello per il controllo del cartesiano; allo stesso modo sul pannello principale per il controllo della tavola di ammaraggio è stato aggiunto un pulsante per attivare quello per il controllo del cartesiano.

Modo	Mov 1 Elevatore In movimento	Mov 2 Carrello In movimento	Mov 3 Gru In movimento
Posizione (mm)	12345	12345	12345
Gancio	Errore	Reset	Errore
	Acceso	Potenza	Acceso
Oggetto presente			
Oggetto assente			
Agganciato			
Sganciato			
Fungo	Reset Fungo		

Fig. 4.17: Configurazione del pannello principale in Vijeo Designer

Il pannello secondario che permette la scelta della modalità di controllo del sistema contiene due pulsanti e due spie (figura 4.18). Le spie indicano la modalità selezionata, i pulsanti permettono di scegliere la modalità di controllo e attivano il pannello secondario corrispondente. Infatti uno degli altri due pannelli secondari contiene i comandi per il controllo nella modalità manuale e l'altro per la modalità automatica. Quando il pannello principale viene attivato, viene attivato inizialmente anche il pannello per la scelta della modalità.

Il pannello per il controllo nella modalità manuale contiene i pulsanti per i comandi delle operazioni del gancio e, per ogni azionamento, pulsanti e spie necessari per controllare l'asse elettrico, tra cui cinque pulsanti la cui funzione, analogamente a quanto visto per l'interfaccia SCADA, è selezionare il modo di funzionamento corrispondente e aprire un

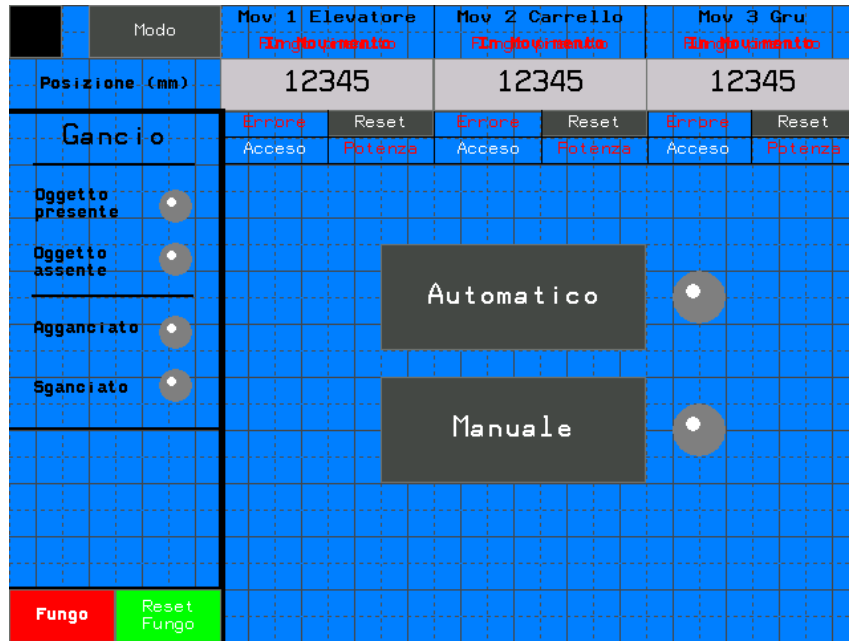


Fig. 4.18: Configurazione del pannello per la scelta della modalità di controllo in Vijeo Designer

popup, nella giusta posizione, contenete gli oggetti necessari per dare i comandi nel modo scelto (figura 4.19).



Fig. 4.19: Pannello per il controllo manuale, visualizzato sullo schermo touchscreen, con aperto il popup per il controllo della gru nel modo jog

Il pannello per il controllo nella modalità automatica (figura 4.20) contiene, tra gli altri, pulsanti e spie per la scelta della sequenza automatica e per il controllo del suo stato. Quando viene selezionata una sequenza che necessita di ulteriori comandi viene aperto, nella parte inferiore dello schermo, un popup contenente i pulsanti e le spie necessari.



(a) Visualizzato sullo schermo touchscreen



(b) Configurazione in Vjeto Designer

Fig. 4.20: Pannello per il controllo delle sequenze automatiche

4.4 Conclusioni

In questo capitolo sono state illustrate le interfacce di comunicazione con il PLC del cartesiano, che permettono ad un operatore di controllare il sistema.

L'interfaccia HMI viene utilizzata nelle vicinanze dell'apparato, consente di controllare il cartesiano in modo completo e di ricevere le informazioni principali sul suo stato. L'interfaccia SCADA è progettata per l'interazione con il sistema da remoto, oltre a consentire di controllare in modo completo il cartesiano, permette di ricevere e archiviare tutte le informazioni disponibili sul suo stato.

Nel prossimo capitolo sarà presentato un documento sull'uso del sistema in condizioni di sicurezza mediante il controllo tramite l'interfaccia SCADA.

Documento sulla procedura operativa

Per illustrare il corretto uso del sistema del cartesiano in condizioni di sicurezza è stato redatto un documento sulla procedura operativa da seguire. Tale documento è riportato nelle pagine seguenti.

OPERATING PROCEDURE

SPES - CARTESIANO

Abstract

This aim of this procedure is to describe the good practices SPES users you should apply to operate the SPES cartesiano.

Contents

- 1 SCOPE OF THE DOCUMENT 3**
- 2 INTRODUCTION 3**
- 3 MAIN HAZARDS RELATED TO THE USE OF THE CARTESIANO 4**
- 4 OPERATION OF THE CARTESIANO 6**
 - 4.1 AUTOMATIC MODE 6
 - 4.2 MANUAL MODE 7
 - 4.3 DRIVERS PARAMETERS 9
- 5 LOADING OF THE SARCOPHAGUS 9**
- 6 PROCEDURE IN THE HOT ROOM 10**
- 7 UNLOADING OF THE SARCOPHAGUS 12**
- 8 IN CASE OF EMERGENCY 13**

1 SCOPE OF THE DOCUMENT

This document presents the good practices users should follow to operate the SPES cartesiano in a safe manner.

2 INTRODUCTION

The cartesiano is an handling system used in the SPES facility to move the target chamber from the coupling table of the facility front end into a sarcophagus, and from the sarcophagus on the coupling table (figure 1).

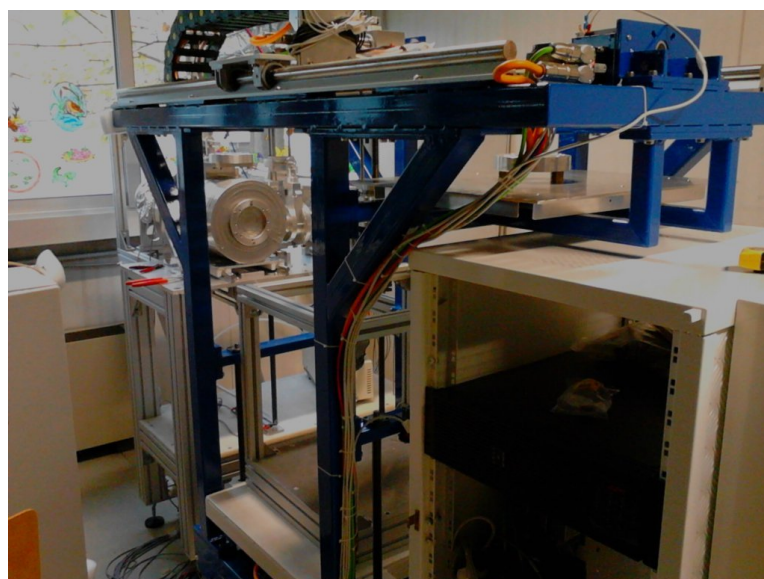
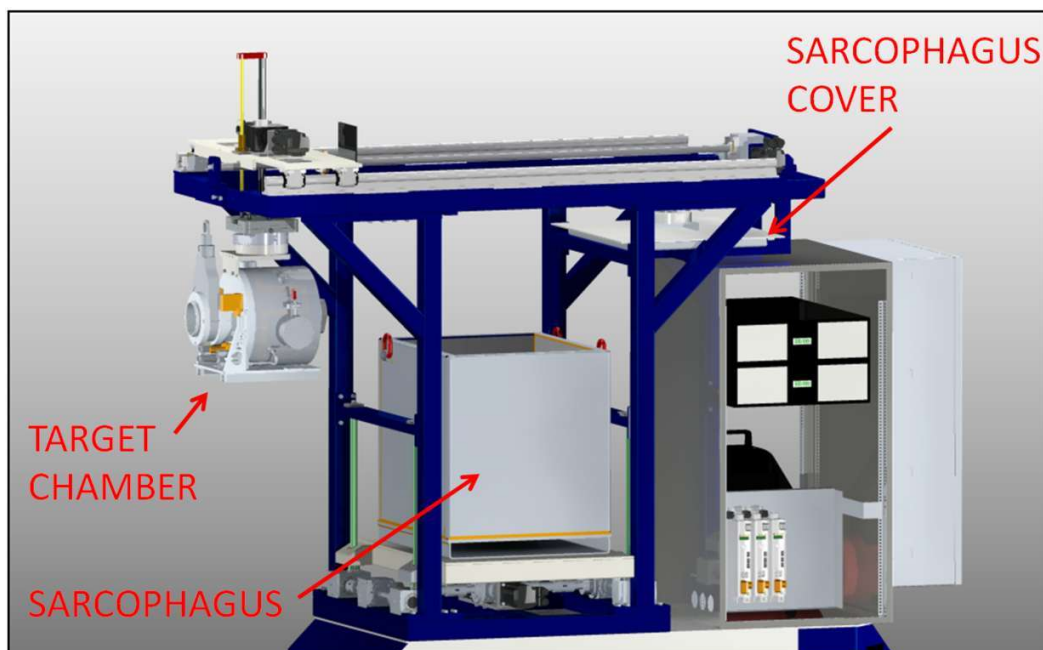


Figure 1: Cartesiano

The cartesiano is mounted on an AGV (Automatic Guided Vehicle) that transports the sarcophagus between the parking place, the front end into the hot room and the temporary storage. The path of the AGV is shown on figure 2. The dashed line represents the path of the cartesiano connecting the places of interest.

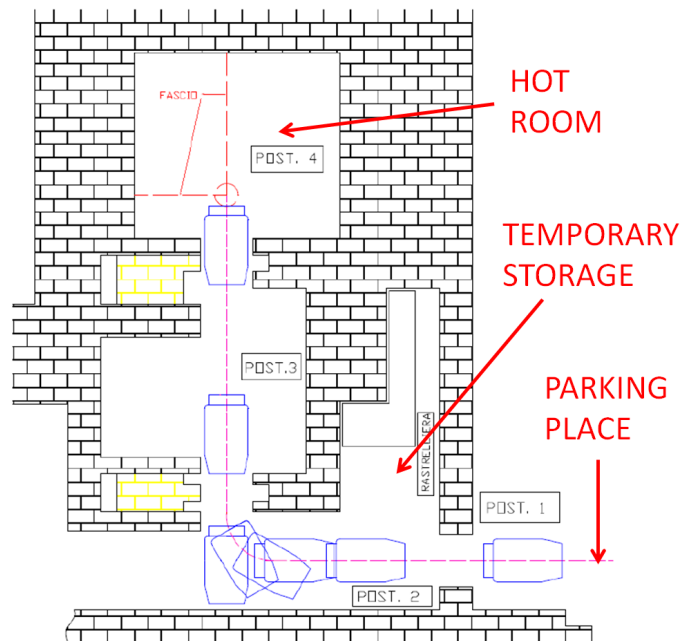


Figure 2: AGV Path

When the cartesiano is next to the front end, it is used to take the old target chamber from the coupling table, put it into the sarcophagus, take the cover and put it on the sarcophagus. Alternatively the cartesiano is also used to remove the cover, take the new target chamber from the sarcophagus and put it on the coupling table.

When the cartesiano is next to the temporary storage or in the parking place its mobile components have to move to make it easy to take the sarcophagus from its load platform or put the sarcophagus on it by other systems.

3 MAIN HAZARDS RELATED TO THE USE OF THE CARTESIANO

The main hazards related to the use of cartesiano are:

- Mechanical
- Collisions

Those hazards are located on figure 3.

Safety instructions are given in the following paragraphs to limit the risks linked to those hazards.

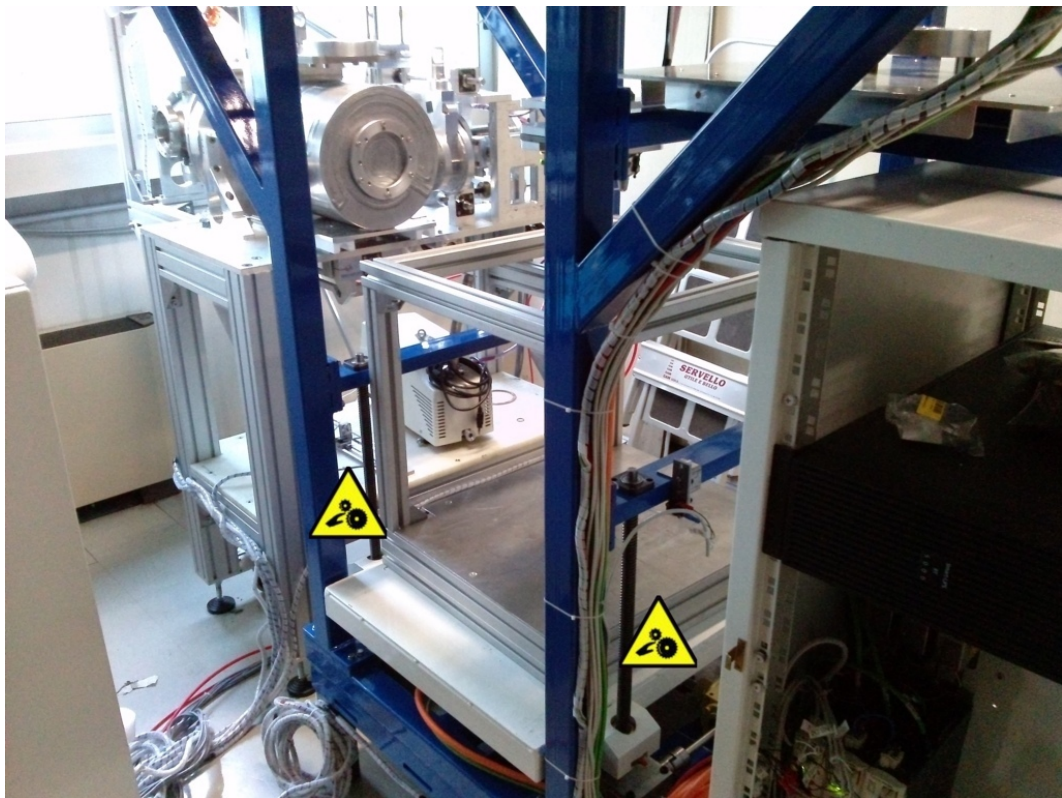
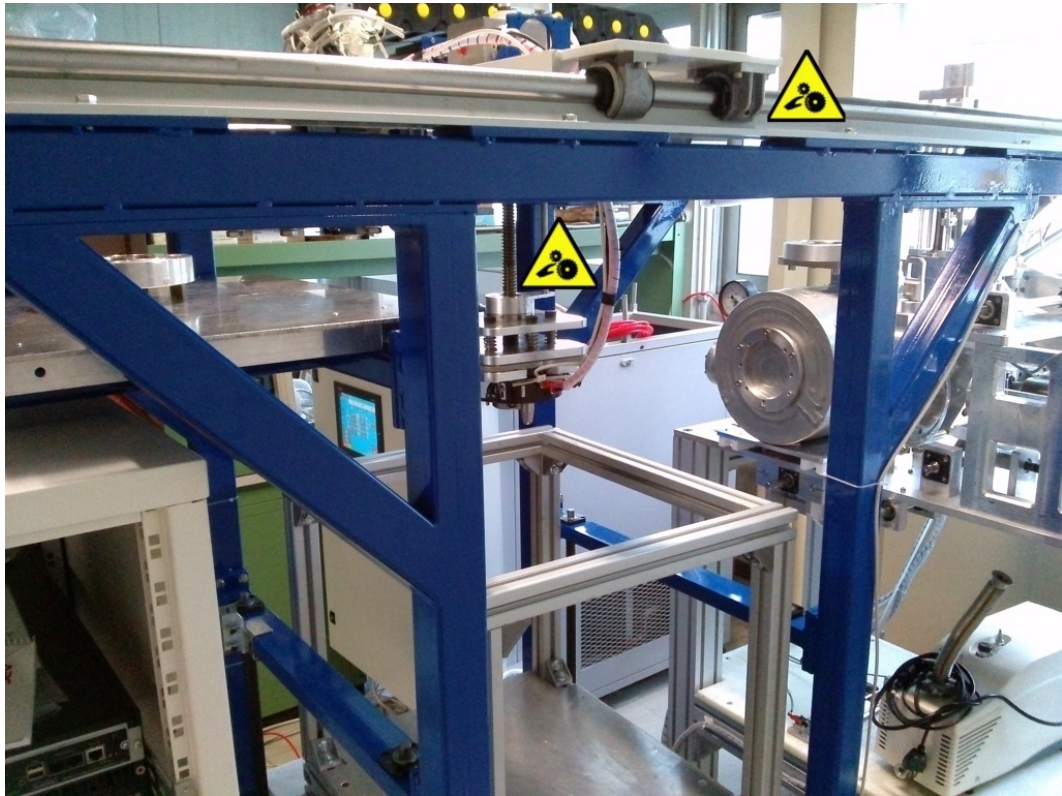


Figure 3: Main hazards related to the use of the cartesiano

4 OPERATION OF THE CARTESIANO

This section presents the steps users should follow to operate the cartesiano.

4.1 AUTOMATIC MODE

Normally the system is controlled by the operator in automatic mode from the automatic mode control page of the control interface.

The operator has to follow these steps (figure 4):

- make sure the system is in automatic mode by pushing the "Automatic mode" button and looking at its light on the automatic mode control page of the control interface;
- select the automatic sequence has to be executed;
- push "Go" button;
- four of the sequence require the consent of the operator after every action to continue, the operator can give the consent pushing the "Continue" button when required;
- wait for the sequence is complete;
 - the operator can push "Stop" button to stop the sequence;
 - if the sequence has been stopped the operator can resume it pushing "Go" button;
 - if the sequence has been stopped and sequence indication light is yellow meaning all components are firm, the operator can exit the sequence pushing the "Exit" button;
 - if the sequence has been exited the operator can choose another one or change mode;
- when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it and the operator can select another one or change mode.

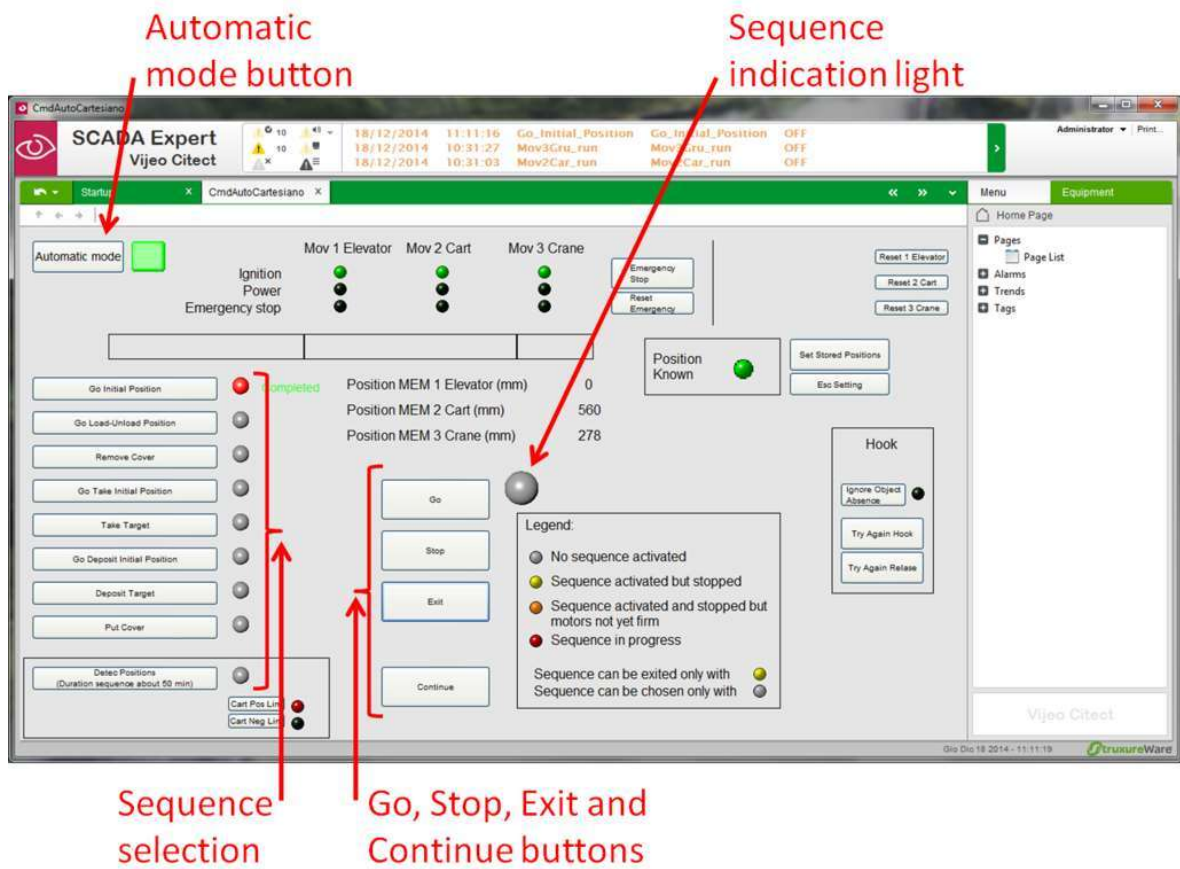


Figure 4: Automatic mode control interface

4.2 MANUAL MODE

If needed the cartesiano can be manually controlled from the manual mode control page of the control interface (figure 5).

When no sequence is active the operator can select the manual mode pushing the "Manual mode" button on the manual mode control page.

In the manual mode the user can control the hook using two buttons to hook and release.

In this mode the user can separately control the mobile components of the cartesiano. Each component can be move in some ways; in particular the operator can send a component to predetermined positions choosing also the velocity (figure 6).

When all components are firm it is possible to return to the automatic mode.

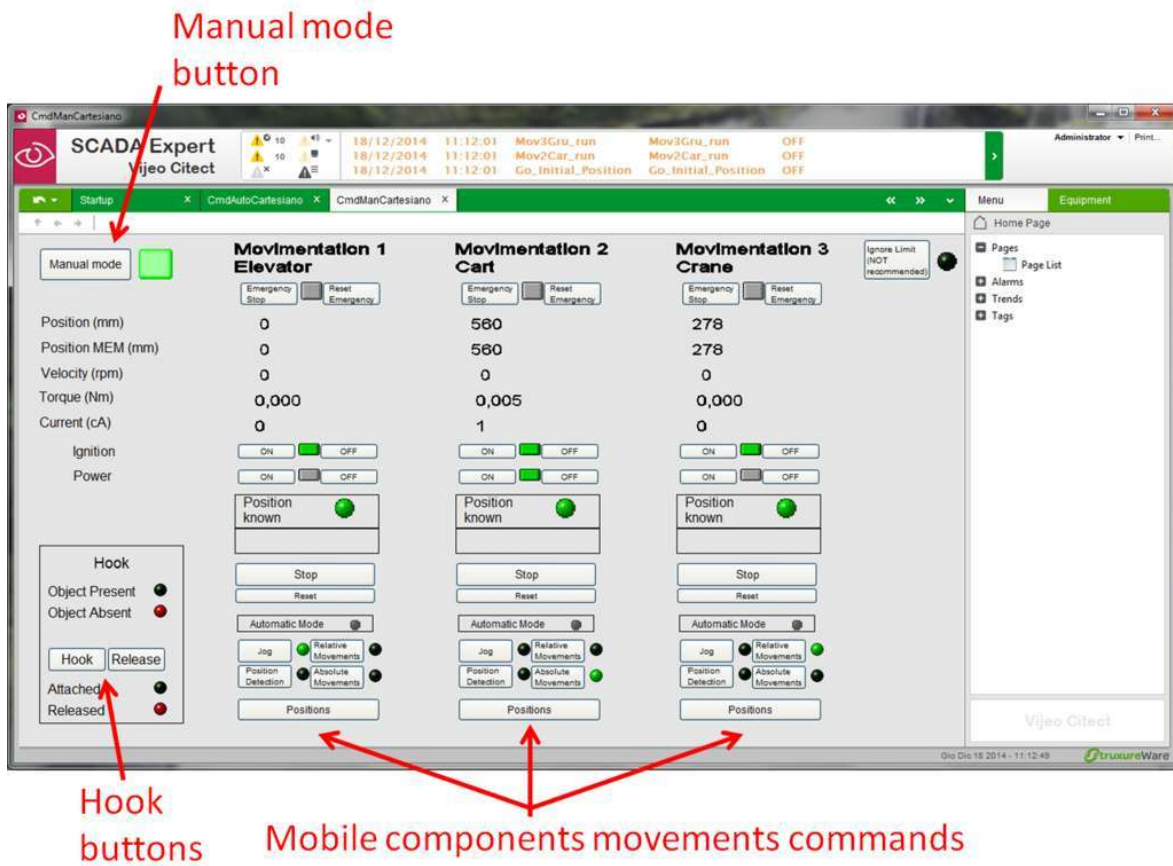


Figure 5: Manual mode control interface



Figure 6: Cart positions selection

4.3 DRIVERS PARAMETERS

The operator can edit parameters of the motors drivers using the parameters control page of the control interface (figure 7) in manual mode. This page should only be used by advanced users.

The user editing parameters can change the behaviour of the mobile components of the system; for example it is possible to change the initial acceleration of movements.

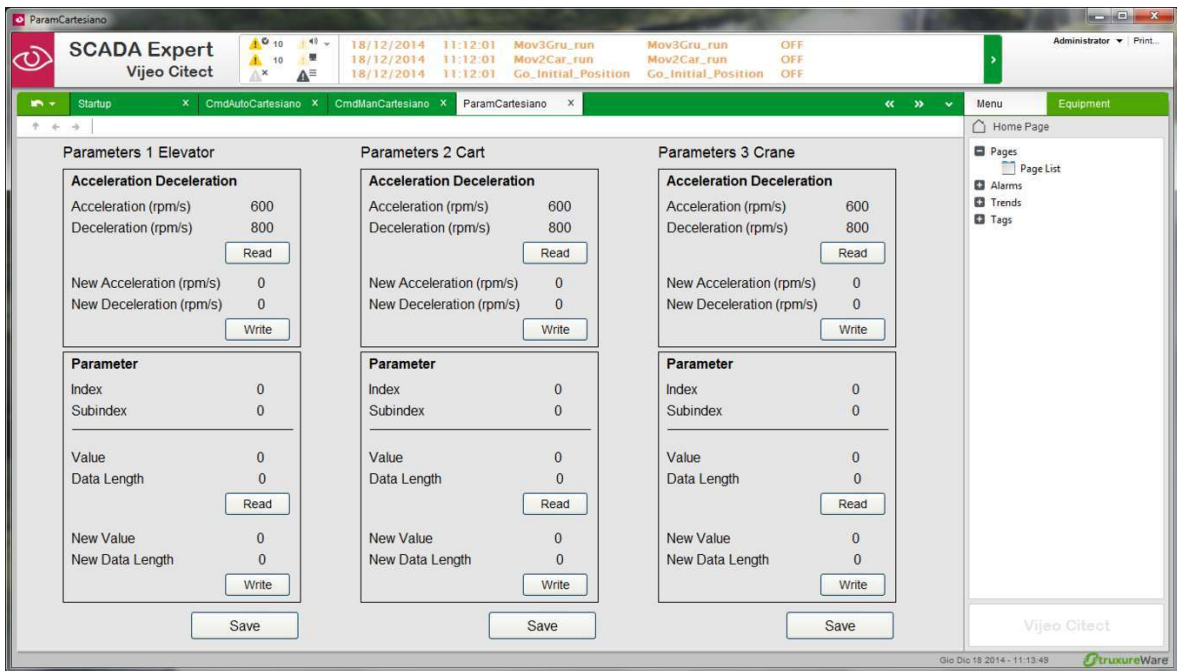


Figure 7: Parameters control interface

5 LOADING OF THE SARCOFAGUS

This section presents the steps users should follow to load the sarcophagus on the load platform of the cartesiano (figure 8):

- make sure the system is in automatic mode by pushing the "Automatic mode" button and looking at its light on the automatic mode control page of the control interface;
- select "Go Load-Unload Position" sequence and push "Go" button;
- wait for the sequence is complete, when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it;
- make sure the system is firm controlling the sequence indication light and the power indication lights are off;
- load the sarcophagus using forklift;

- when the forklift is not near the cartesiano, select "Go Deposit Initial Position" sequence and push "Go" button;
- wait for the sequence is complete, when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it;
- make sure the system is firm controlling the sequence indication light and the power indication lights are off.

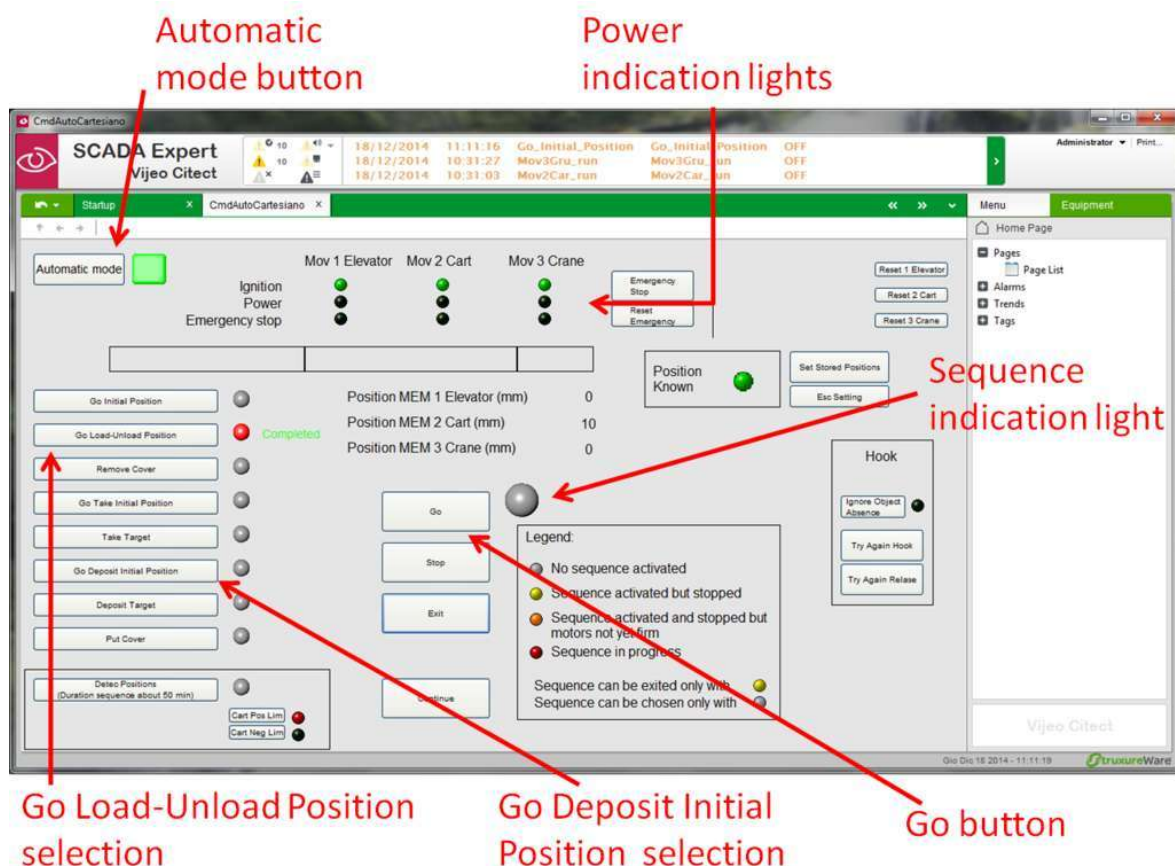


Figure 8: Control interface

6 PROCEDURE IN THE HOT ROOM

When the cartesiano is in the hot room in front of the front end, it is used to take the target chamber from the coupling table and put it into the sarcophagus or to take the target chamber from the sarcophagus and deposit it on the coupling table.

This section presents the steps users should follow to take the target chamber from the coupling table or deposit the target chamber on it (figure 9):

- make sure the system is in automatic mode by pushing the "Automatic mode" button and looking at its light on the automatic mode control page of the control interface;

- select "Take target" sequence to take the target chamber from the coupling table or select "Deposit target" sequence to deposit the target chamber on the coupling table;
- push "Go" button;
- push "Continue" button when required;
- wait for the sequence is complete, when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it;
- make sure the system is firm controlling the sequence indication light and the power indication lights are off.

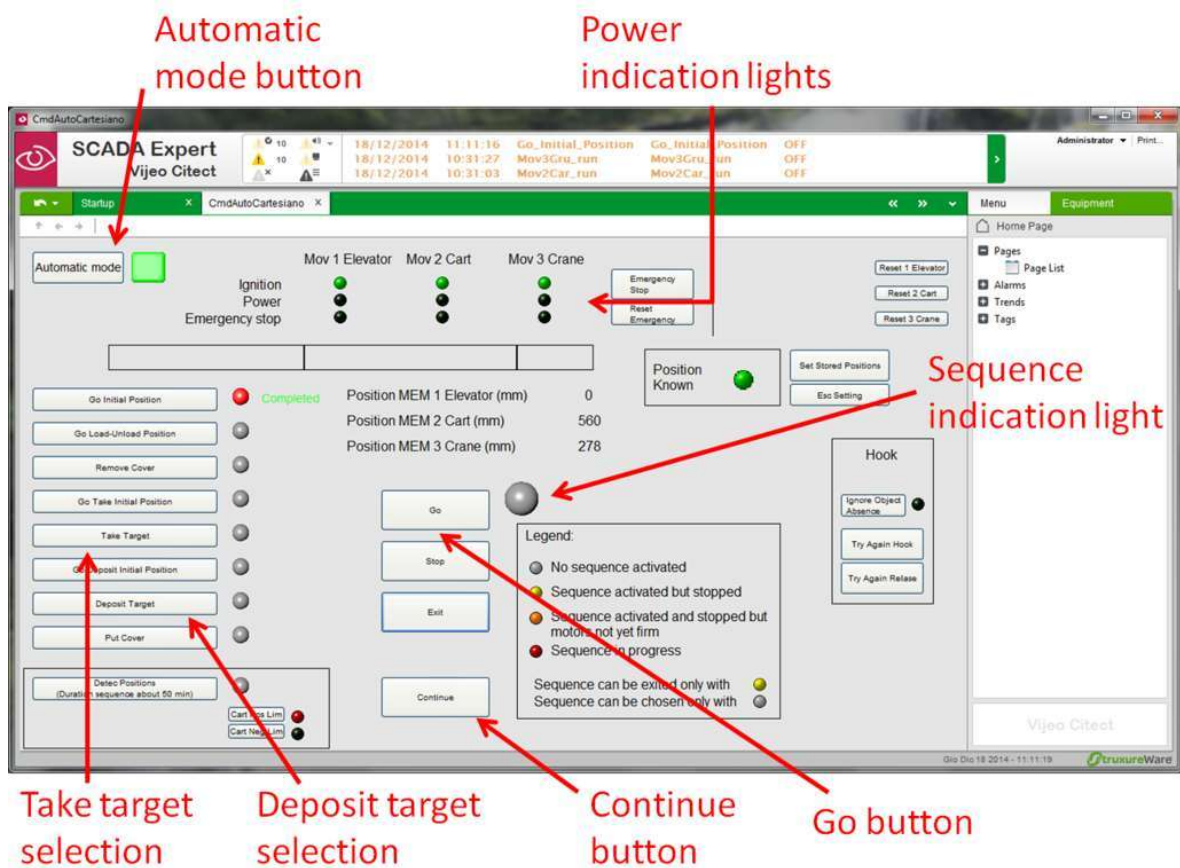


Figure 9: Control interface

7 UNLOADING OF THE SARCOPHAGUS

This section presents the steps users should follow to unload the sarcophagus from the load platform of the cartesiano when it is next to the temporary storage (figure 10). The steps are similar to load procedure ones:

- make sure the system is in automatic mode by pushing the "Automatic mode" button and looking at its light on the automatic mode control page of the control interface;
- select "Go Load-Unload Position" sequence and push "Go" button;
- wait for the sequence is complete, when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it;
- make sure the system is firm controlling the sequence indication light and the power indication lights are off;
- unload the sarcophagus using temporary storage handling system;
- when unload procedure has been completed, select "Go Take Initial Position" sequence and push "Go" button;
- wait for the sequence is complete, when the sequence is complete the green word "Completed" indicates it;
- make sure the system is firm controlling the sequence indication light and the power indication lights are off.

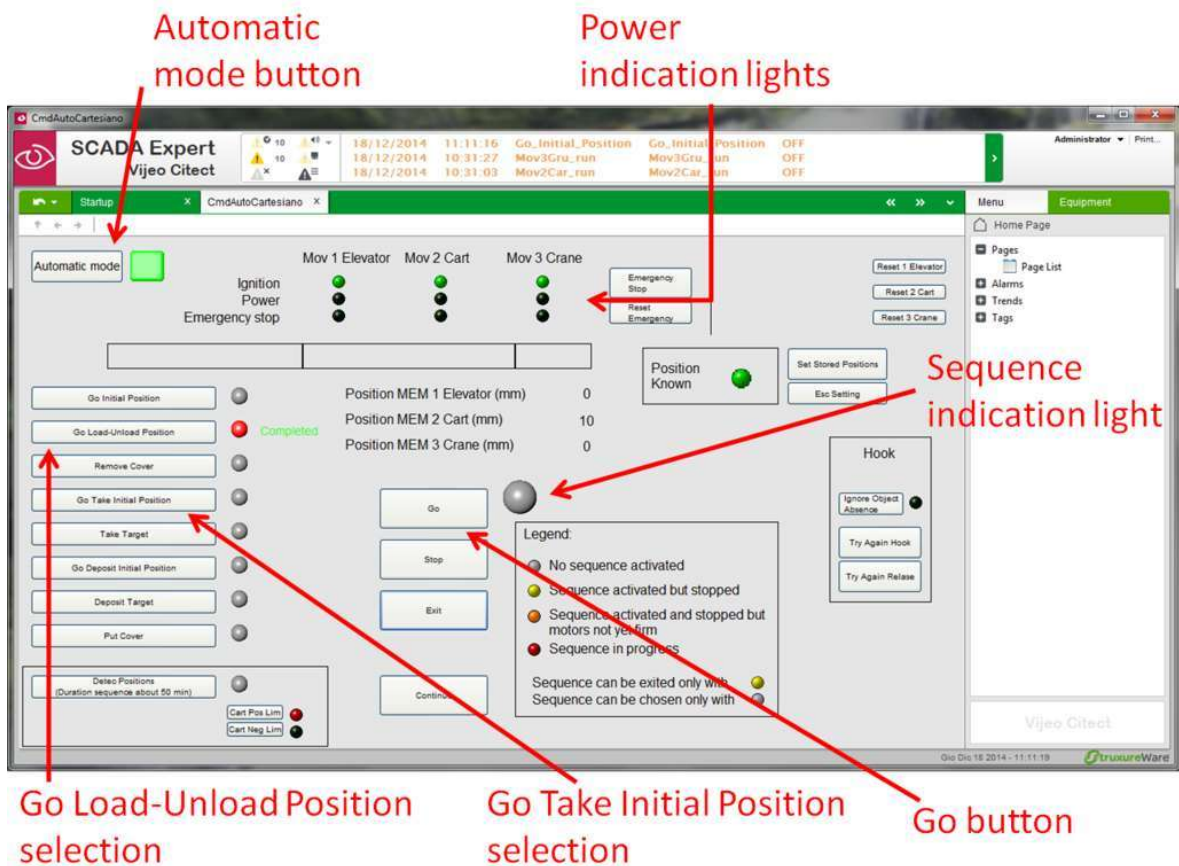


Figure 10: Control interface

8 IN CASE OF EMERGENCY

In case of need, two kinds of stops can be used to stop movements (figure 11).

- Soft stop, pushing "Stop" button; it stops movements with their normal deceleration.
- Emergency stop, pushing "Emergency Stop" button; it stops movements deactivating drivers power stage causing rapid stop.

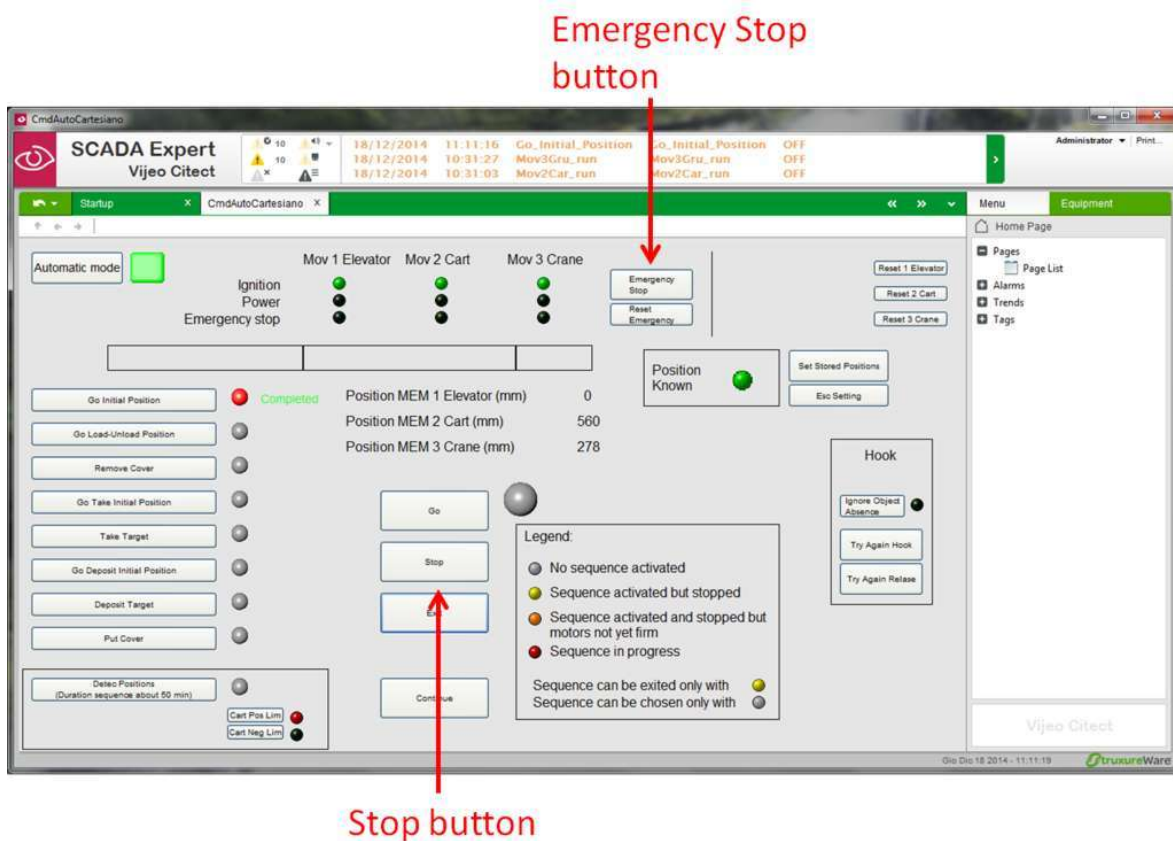


Figure 11: Control interface

Prove sperimentali

Come illustrato, mentre il programma del PLC è in esecuzione è possibile leggere e scrivere i valori delle sue variabili utilizzando le interfacce HMI e SCADA; quest'ultima permette anche di memorizzare i valori assunti dalle variabili monitorate nel tempo. Anche il software di sviluppo del programma, se connesso al PLC, permettere l'interazione con le variabili durante l'esecuzione, senza la necessità di assegnare loro un indirizzo di memoria. Per visualizzare il valore di una variabile ed editarlo può essere utilizzato uno strumento chiamato tabella di animazione, una schermata in cui si possono elencare le variabili con cui si desidera interagire, delle quali viene mostrato il valore, che può essere cambiato dall'utente. Può anche essere predisposta una schermata con pulsanti, spie e altri oggetti similmente a quanto fatto per le interfacce di controllo. Il software di sviluppo inoltre, se collegato al PLC durante l'esecuzione, mostra lo stato delle variabili e dell'esecuzione delle istruzioni all'interno delle sezioni di codice, ad esempio i collegamenti tra contatti e bobine nelle sezioni LD, utilizzando diversi colori (figura 6.1).

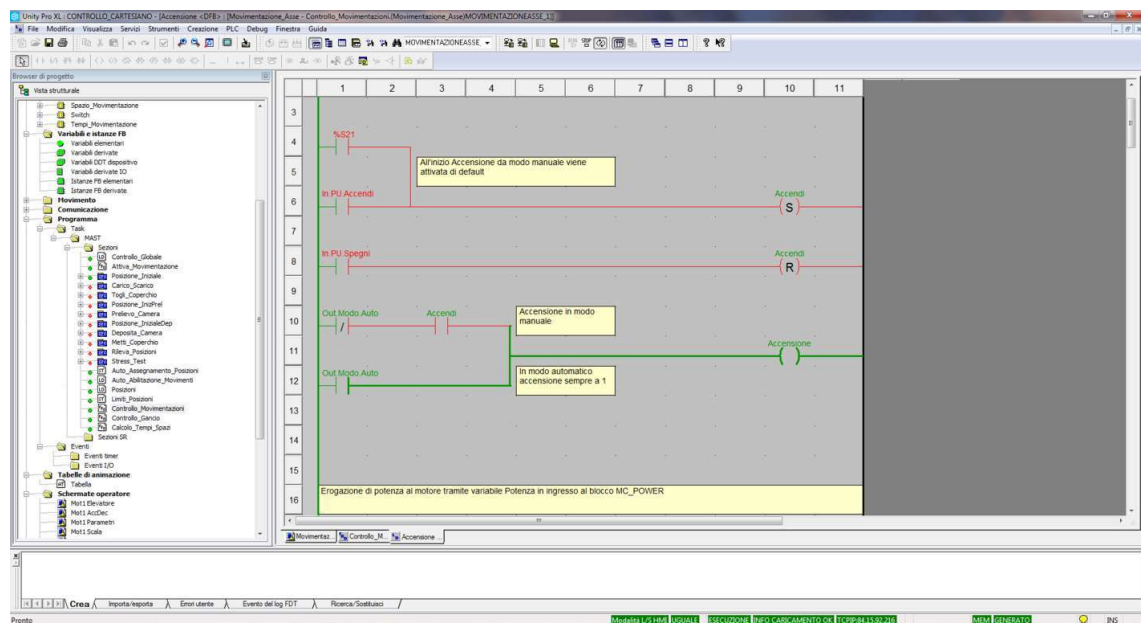


Fig. 6.1: Parte di una sezione di codice durante l'esecuzione

Questo strumento è stato utile nelle fasi di test e debugging del programma, dato che ha permesso di visionare facilmente i valori delle variabili e le interazioni tra esse durante il funzionamento del sistema, in particolare nel caso di comportamenti indesiderati, consentendo una rapida identificazione dei problemi e quindi una rapida risoluzione.

Il lavoro svolto ha permesso di acquisire una buona conoscenza di metodologie e soluzioni applicabili per lo sviluppo del software, che ha consentito di giungere ad un sistema funzionante e applicabile concretamente.

Il sistema realizzato utilizza motori elettrici per effettuare i movimenti necessari alle operazioni da svolgere. È utile poter monitorare, grazie al programma scritto, le grandezze fisiche caratteristiche di questo processo, in particolare la coppia erogata dai motori e le durate dei movimenti e delle sequenze automatiche.

Le durate che è più importante monitorare sono quelle delle sequenze automatiche per il deposito della camera target sul front end e per il prelievo della camera target da esso, in quanto verranno eseguite in ambiente radioattivo.

La durata totale della sequenza per il deposito della camera target, partendo dalla posizione iniziale di deposito, e le durate dei singoli movimenti svolti nel corso dell'operazione, eseguiti a velocità vicine alla velocità massima dei motori, sono riportate nella tabella 6.1.

Tab. 6.1: Durate relative alla sequenza di deposito

Totale	5 min	13 s
Componente	Movimento	Durata (s)
Elevatore	7	21
	8	27
Carrello	2	30
	5	27
	10	35
	12	13
	15	19
Gru	1	25
	3	9
	4	8
	6	24
	9	24
	11	10
	13	5
	14	12
16	23	

La durata totale della sequenza per il prelievo della camera target, partendo dalla posizione iniziale di prelievo, e le durate dei singoli movimenti svolti nel corso dell'operazione, eseguiti a velocità vicine alla velocità massima dei motori, sono riportate nella tabella 6.2.

Utilizzando la pagina Process analyst dell'interfaccia SCADA, sono stati raccolti e visualizzati graficamente i dati relativi alla coppia erogata dai motori nel tempo (periodo di campionamento 0.25 s) durante le movimentazioni, alla loro velocità e alla posizione degli organi meccanici.

Durante la sequenza automatica per il deposito della camera target sono stati raccolti i dati mostrati nei grafici di figura 6.2.

Nel primo grafico è riportato l'andamento della coppia (Nm), nel secondo quello della velocità (rpm), nel terzo quello della posizione degli organi meccanici (mm). Le linee nere corrispondono ai dati relativi ai movimenti dell'elevatore, quelle verdi al carrello, quelle rosse alla gru.

In figura 6.3 sono riportati i grafici relativi alla sequenza per il prelievo della camera target con le stesse modalità di rappresentazione dei precedenti.

Da una valutazione qualitativa dei grafici si evince che la componente di coppia erogata dai motori dovuta all'accelerazione è poco importante rispetto alla componente dovuta ai

Tab. 6.2: Durate relative alla sequenza di prelievo

Totale	5 min	10 s
Componente	Movimento	Durata (s)
Elevatore	8	29
	10	20
Carrello	2	19
	5	13
	7	35
	12	27
	15	30
Gru	1	23
	3	12
	4	5
	6	10
	9	23
	11	24
	13	8
	14	9
16	23	



Fig. 6.2: Grafico relativo alle grandezze monitorate durante la sequenza per di deposito della camera target

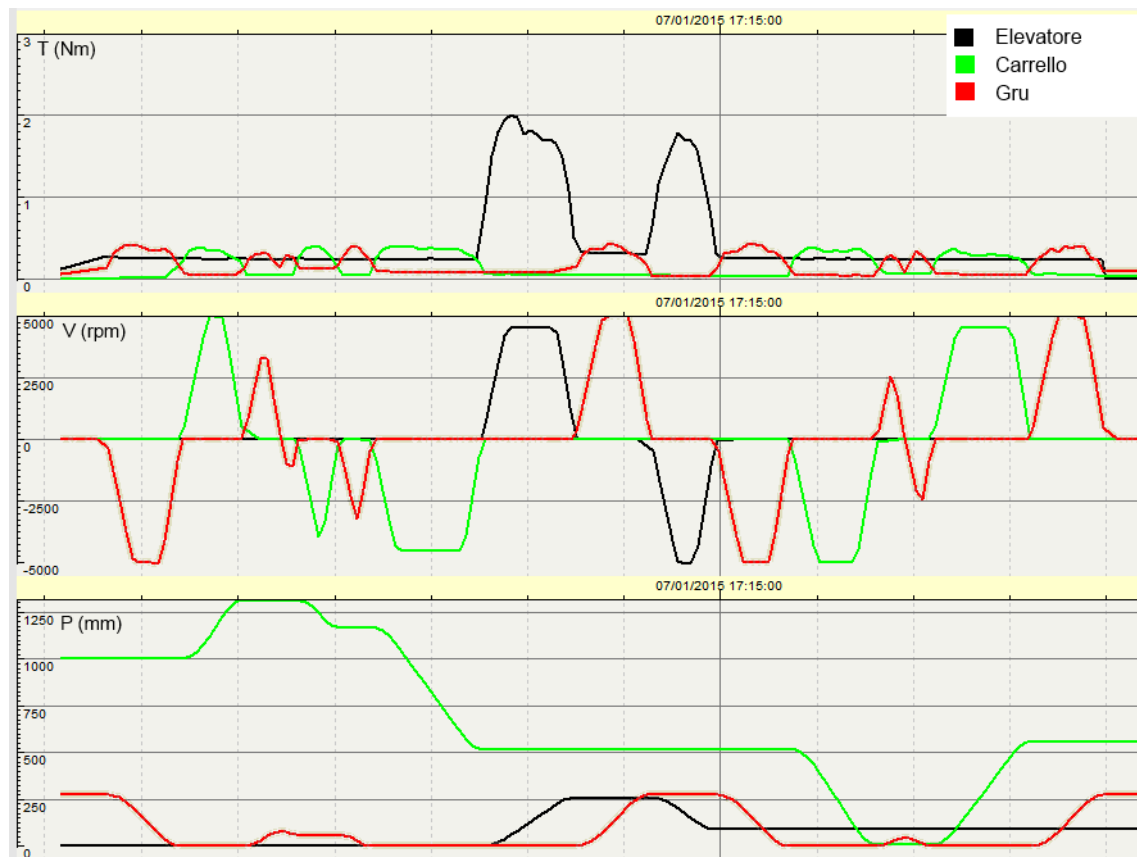


Fig. 6.3: Grafico relativo alle grandezze monitorate durante la sequenza per di prelievo della camera target

fenomeni di attrito, in quanto nei tratti di accelerazione non emergono valori di coppia significativamente superiori rispetto ai tratti a velocità costante.

La camera target utilizzata nelle prove ha una massa approssimativamente uguale a quella della camera target che verrà effettivamente utilizzata quando l'acceleratore sarà in funzione. Al posto del sarcofago e del suo coperchio invece sono stati utilizzati, per motivi di sicurezza, componenti in alluminio aventi le stesse dimensioni ma massa considerevolmente inferiore. Questa differenza incide in modo poco significativo sulle movimentazioni della gru e dell'elevatore in quanto, da calcoli teorici, risulta che per il motore della gru la coppia dovuta al peso del vero coperchio corrisponde a circa 0.03 Nm, inferiore di un ordine di grandezza ai valori rilevati durante le prove; per il motore dell'elevatore la coppia dovuta al peso del vero sarcofago corrisponde a circa 0.2 Nm, anche in questo caso, di un ordine di grandezza inferiore ai valori rilevati nelle prove, mentre la sua inerzia vista dal motore è inferiore all'1% di quella totale.

Osservando i grafici relativi all'elevatore e alla gru si nota che anche la componente di coppia dovuta al peso dei componenti spostati non ha un effetto importante rispetto al totale, infatti la differenza tra i valori dei movimenti in salita e in discesa è poco evidente.

Si può quindi affermare che, per effetto degli stadi di riduzione, la coppia erogata dai motori è dovuta principalmente ai fenomeni di attrito.

Osservando i grafici si nota inoltre chiaramente che il motore dell'elevatore deve fornire una coppia considerevolmente maggiore rispetto agli altri due. Questo è imputabile principalmente al maggior numero di stadi di trasmissione presenti in questa movimentazione che causano una maggiore intensità dei fenomeni dissipativi. L'elevato rapporto di riduzione prodotto dagli stadi di trasmissione è necessario per abbassare in modo importante l'effetto del carico sulla coppia.

I motori del carrello e della gru generano una coppia sempre inferiore, con un buon margine, alla coppia nominale (1.1 Nm), il motore dell'elevatore invece supera tale valore, pur erogando una coppia sempre inferiore, con un buon margine, alla coppia massima (4 Nm). È preferibile non superare la coppia nominale ma questa situazione è comunque accettabile in quanto i movimenti dell'elevatore sono poco frequenti e di breve durata, quindi non c'è il rischio di surriscaldamento del motore.

Un altro fatto che emerge dai dati è che, anche se le movimentazioni hanno la proprietà di irreversibilità del moto che rende non necessaria l'applicazione di coppia per tenere fermo il carico, in certi intervalli la coppia non risulta nulla nonostante il motore sia fermo; questo fatto è più evidente nel caso dell'elevatore. Questo fenomeno è probabilmente attribuibile al mantenimento delle tensioni interne agli stadi di trasmissione del moto.

Conclusioni

In questo elaborato è stato presentato un sistema di movimentazione che sarà adibito al prelievo di un dispositivo radioattivo allo scopo di inserirlo in un sarcofago per poterlo trasportare, e all'operazione opposta. Il lavoro svolto su questo sistema è consistito soprattutto nella realizzazione del software atto a garantirne il controllo in modo adeguato, oltre che nella configurazione dell'hardware per permetterne il funzionamento.

Fin dalle fasi iniziali, ad ogni aggiunta nella configurazione hardware e poi nel software è seguita subito una fase di test delle modifiche fatte per verificarne il funzionamento; si è quindi proceduto per passi, metodo che ha consentito di risolvere immediatamente eventuali problemi riscontrati consentendo di concentrare l'attività sui successivi miglioramenti del sistema.

I motori elettrici che permettono il movimento degli organi meccanici del cartesiano sono stati collegati ai rispettivi azionamenti, ai quali sono stati connessi anche i fincorsa relativi ai movimenti, montati su staffe appositamente progettate. L'organo di presa, attuato dall'aria compressa, è stato collegato alle elettrovalvole e queste al compressore. Gli azionamenti e le elettrovalvole, oltre ai sensori del gancio, sono stati connessi al PLC in modo che questo potesse controllare interamente il sistema. Il PLC è situato nel quadro elettrico incorporato nell'apparato, il quale ne alimenta tutte le apparecchiature e a sua volta riceve energia elettrica da un gruppo di alimentazione.

Il software del PLC è stato realizzato in modo da garantire funzionamento e controllo adeguati del sistema. Il programma permette di controllare il sistema in due modalità, manuale o automatica. La modalità manuale permette di controllare tutte le azioni di ogni componente del cartesiano singolarmente e consente di effettuare i movimenti in diversi modi. La modalità automatica consente la scelta di una delle sequenze di azioni impostate e il controllo su avviamento e interruzione della stessa; le sequenze automatiche prevedono l'esecuzione, in modo autonomo, di azioni atte al compimento delle operazioni per cui il sistema è stato costruito. Il programma del PLC comunica inoltre i dati disponibili del sistema, come la coppia erogata dai motori e lo stato dell'organo di presa.

Per interagire con il PLC in modo da poter inviare comandi al sistema e ricevere informazioni da esso sono state realizzate due interfacce, SCADA e HMI. L'interfaccia SCADA, implementata su un computer remoto, consente di controllare in modo completo il sistema e di immagazzinare tutti i dati provenienti da esso; ad esempio ha permesso di raccogliere i dati utilizzati per le considerazioni presenti nell'ultimo capitolo. La HMI è un pannello touchscreen posto nelle vicinanze del cartesiano che consente di controllarlo durante i test e di ricevere le informazioni principali disponibili su di esso.

Dai dati raccolti risulta che nel corso delle movimentazioni i motori elettrici del carrello e della gru lavorano sempre con una coppia inferiore alla coppia nominale, con un buon margine, cosa che li rende adatti all'applicazione in cui sono utilizzati; il motore dell'elevatore invece supera tale valore ma si mantiene sempre, con un buon margine, a valori inferiori a quello della coppia massima. Nonostante, per ragioni di sicurezza, in un sistema che dovrà operare nelle particolari condizioni descritte, sia preferibile che il motore non superi mai il valore di coppia nominale, la situazione è comunque accettabile in quanto i movimenti dell'elevatore sono poco frequenti e di breve durata, fatto che previene il surriscaldamento del motore.

Il sistema, salvo cedimenti meccanici imprevisti o guasti alle apparecchiature elettriche, non presenta particolari "punti deboli" ad eccezione della possibilità, in certe condizioni, di tarare in modo scorretto le posizioni degli organi meccanici. Se si verificasse questa eventualità il funzionamento del sistema potrebbe essere seriamente compromesso; per questo motivo, i futuri sviluppi dell'applicazione prevedono l'aggiunta di sensori allo scopo di ot-

tenere una ridondanza alle informazioni ricavate dagli encoder dei motori. In particolare è prevista l'aggiunta di un sensore al gancio che determini se l'oggetto ad esso accoppiato è posato o no.

Un altro sviluppo del sistema sarà la messa in servizio dei motori ad aria di riserva, calettati sugli stessi assi di quelli elettrici, che saranno utilizzati in caso di guasto al sistema primario.

Bibliografia

- [1] Mattia Manzolaro, *Analisi termica e strutturale del bersaglio diretto per la produzione di fasci radioattivi per il progetto SPES*, 2006-2007
- [2] Alberto Monetti, *Studio, simulazione e test di un apparato per la produzione di fasci radioattivi*, 2011-2012
- [3] LNL INFN, <http://www.lnl.infn.it/>
- [4] SPES TARGET, http://www.lnl.infn.it/~spes_target
- [5] Aldo Mozzi, *Sviluppo di sistemi di movimentazione e rimozione del bersaglio di produzione dell'acceleratore SPES*, 2013-2014
- [6] Michele Calderolla, *Progettazione e controllo della macchina di movimentazione della camera target del progetto SPES*, 2012-2013
- [7] PTC, *Creo Help 2.0*
- [8] Schneider Electric, *LXM32A AC servo drive Product manual V1.07*, 2013
- [9] Schneider Electric, *BHM Servo Motor manual V1.04*, 2012
- [10] Schneider Electric, *Unity Pro Configuration Training Course V6.1*
- [11] Schneider Electric, *Industrial Communication with Unity Pro Training Manual Version 5.0*
- [12] Schneider Electric, *Guida di Unity Pro*
- [13] Schneider Electric, *Vijeo Citect Quick-Start Tutorial V7.40*
- [14] Schneider Electric, *Guida di Vijeo Citect*
- [15] Schneider Electric, *Guida di Vijeo Designer*

Disegni e tavole delle staffe degli switch

Nella figura A.1 sono visibili i disegni 3D delle staffe progettate per montare gli switch sul cartesiano.

Nelle pagine successive sono riportate le tavole di progetto dei componenti delle staffe.

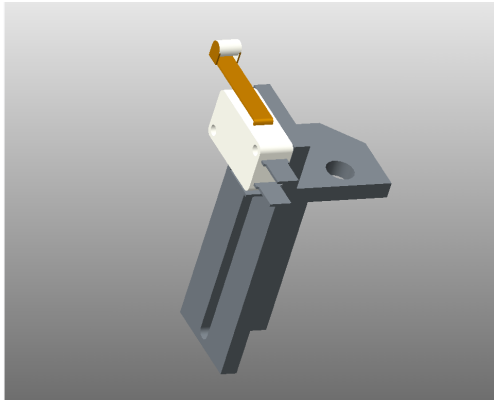
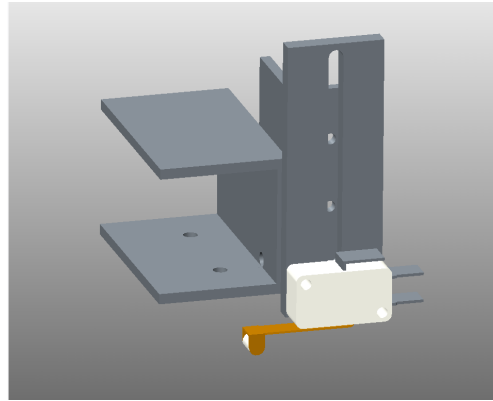
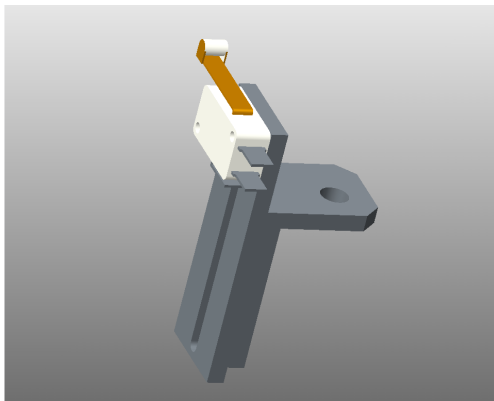
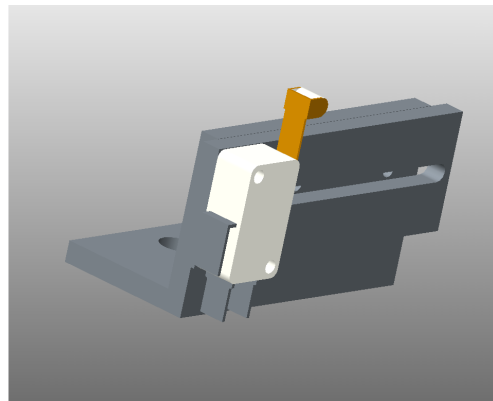
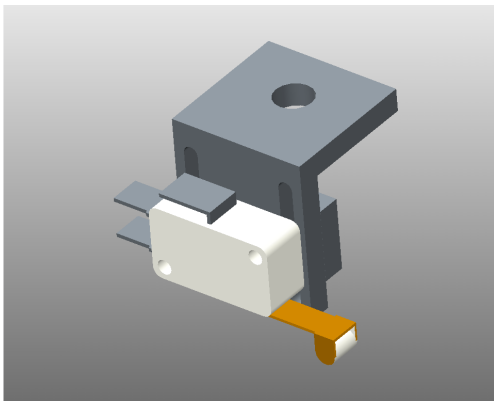
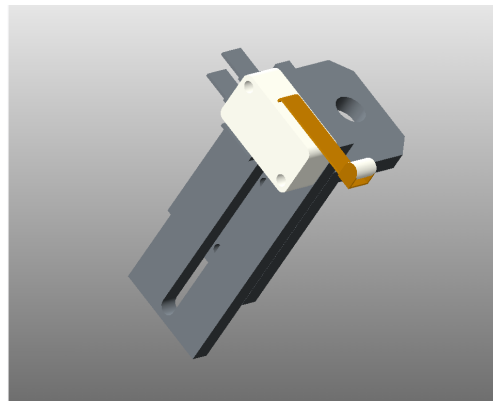
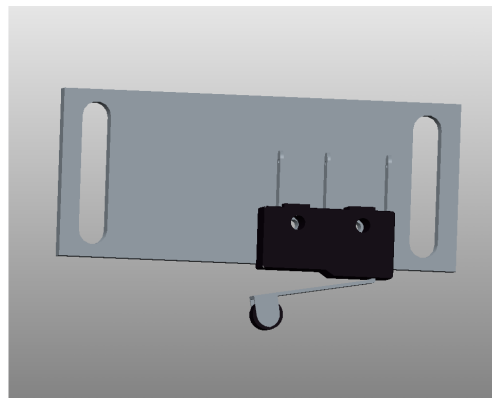
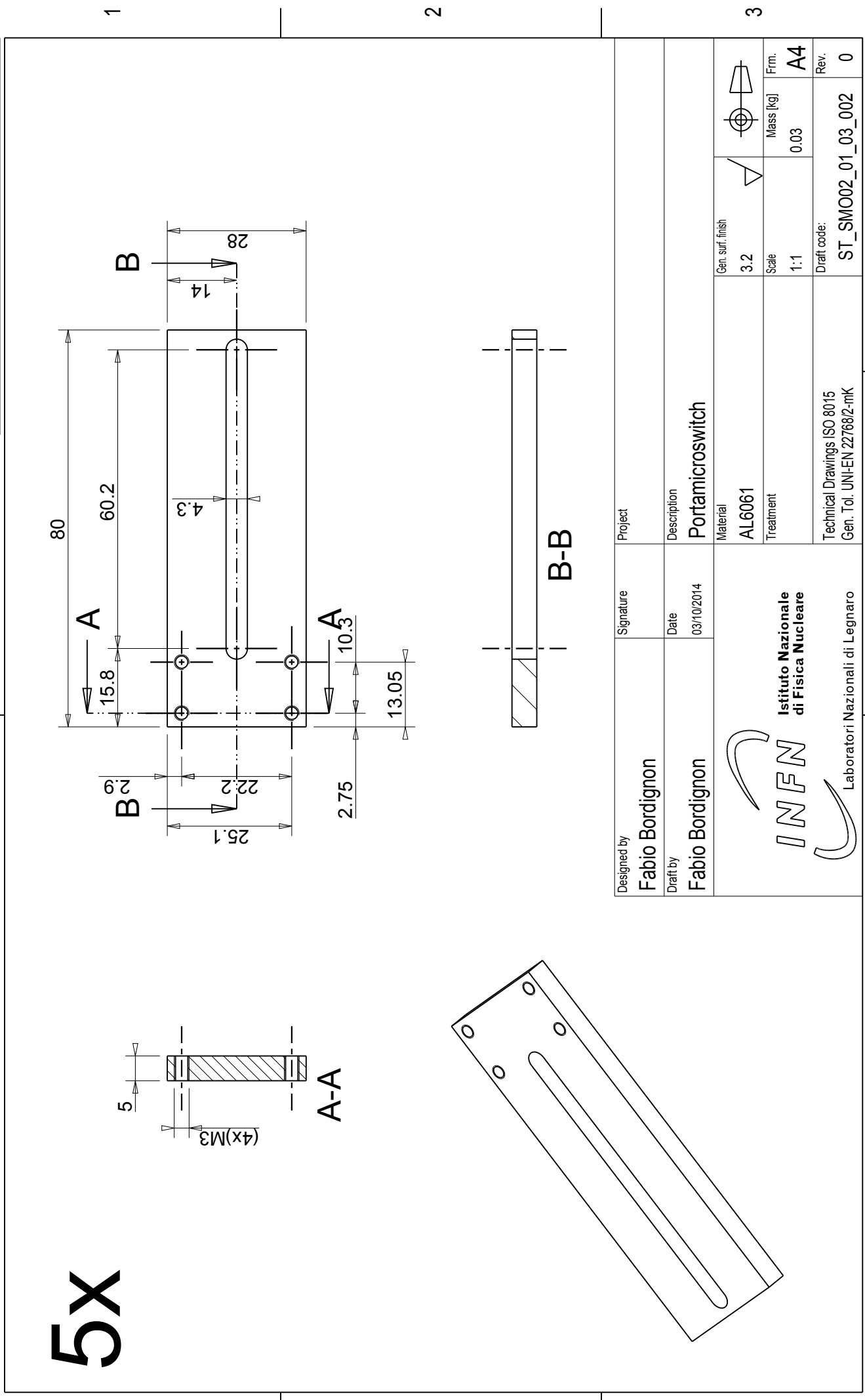
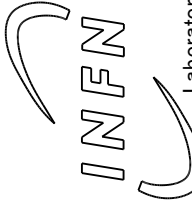
(a) *Limite negativo elevatore*(b) *Limite positivo elevatore*(c) *Limite negativo carrello*(d) *Limite positivo carrello*(e) *Limite negativo gru*(f) *Limite positivo gru*(g) *Sensore di presenza montato sul gancio Schunk*

Fig. A.1: Staffe degli switch montati sul cartesiano

5X

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

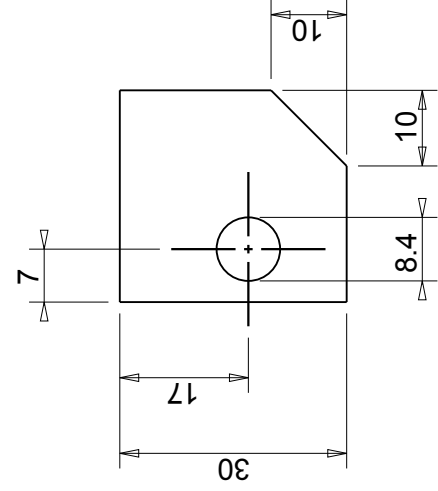
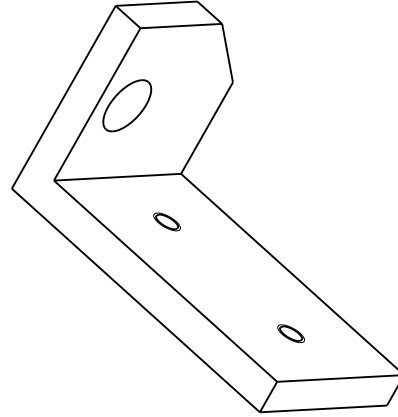
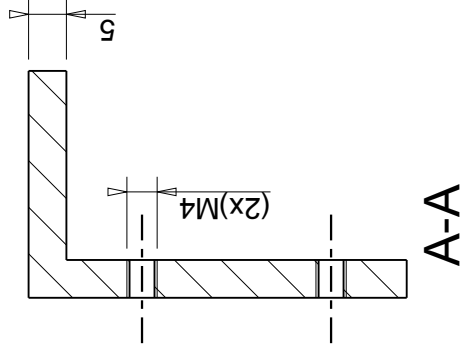
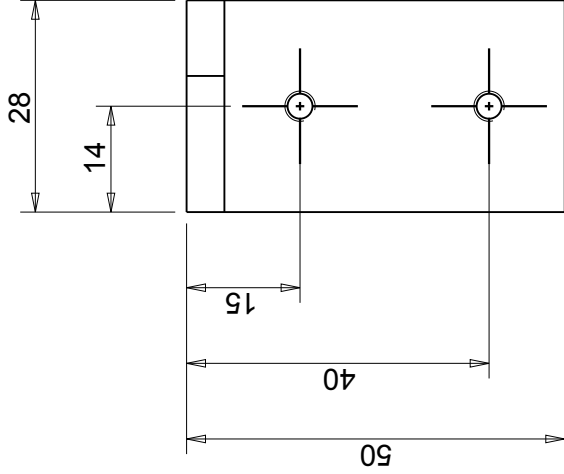


Designed by Fabio Bordignon	Signature	Project
Draft by Fabio Bordignon	Date 03/10/2014	Description Portamicroswitch
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.03
		Draft code: ST_SMO02_01_03_002
		Rev. 0

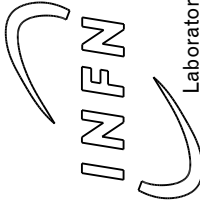
A B C

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

A B



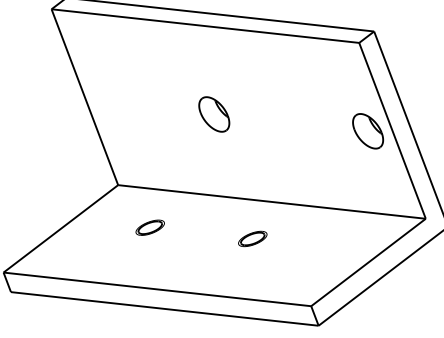
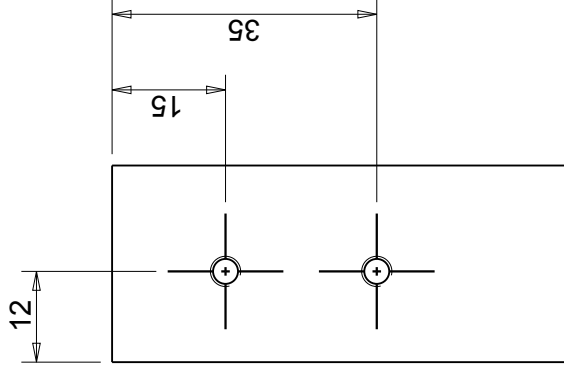
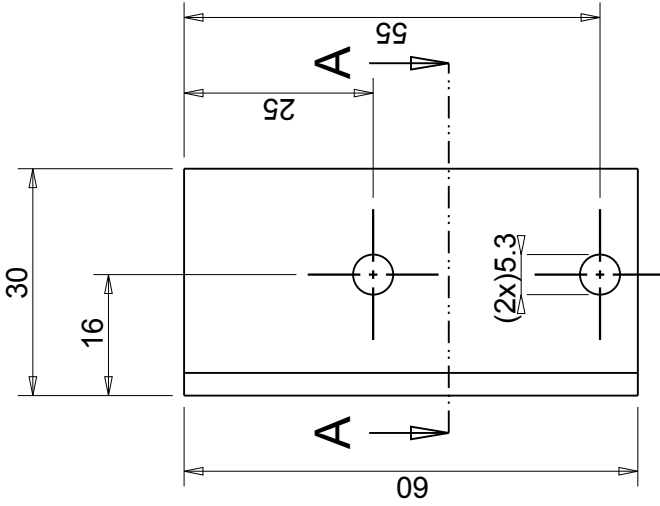
1 2 3

Designed by Bordignon Fabio	Signature	Project Portamicroswitch
Draft by Bordignon Fabio	Date 07/10/2014	Description Portamicroswitch
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.03
Laboratori Nazionali di Legnaro		Draft code: ST_SMO02_01_03_001
		Rev. 0

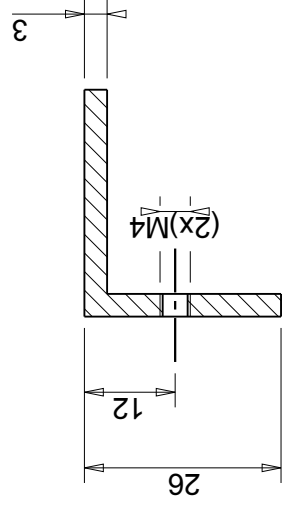
A B C

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

A B

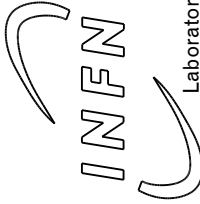


1 2



A-A

3

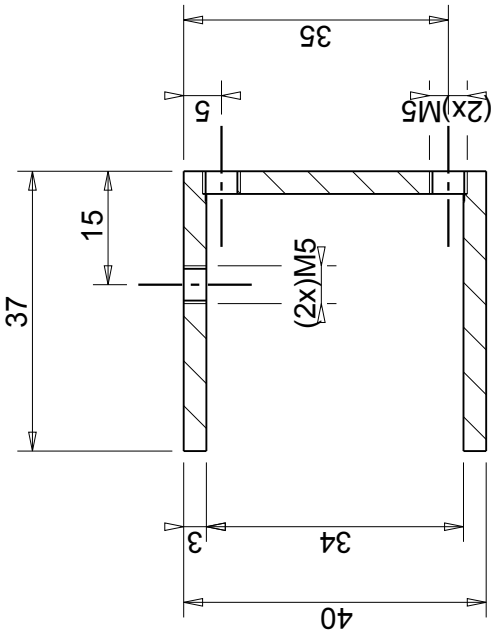
Designed by Bordignon Fabio	Signature	Project Portamicroswitch
Draft by Bordignon Fabio	Date 07/10/2014	Description Portamicroswitch
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.03
Laboratori Nazionali di Legnaro		Draft code: ST_SMO02_07_01_002
		Rev. 0

A B C

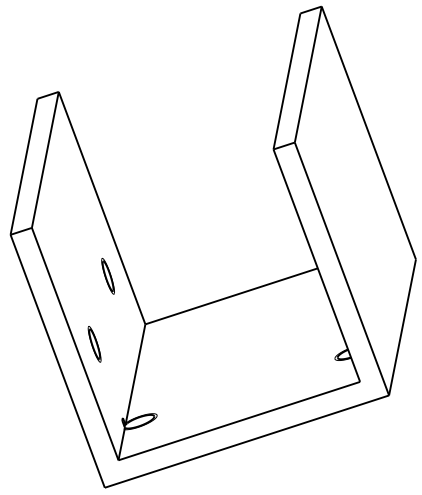
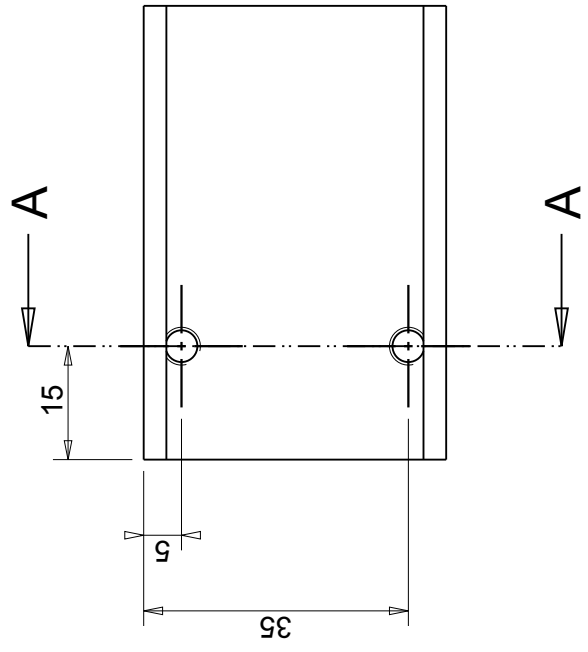
UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	> 6 <= 30	> 30 <= 120	> 120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

B

A



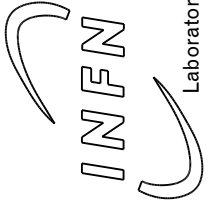
SEZIONE A-A



1

2

3

Designed by Bordignon Fabio	Signature	Project
Draft by Bordignon Fabio	Date 07/10/2014	Description Portamicroswitch
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material INOX_304L	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.15
Draft code: ST_SMO02_07_01_001		Rev. 0

B

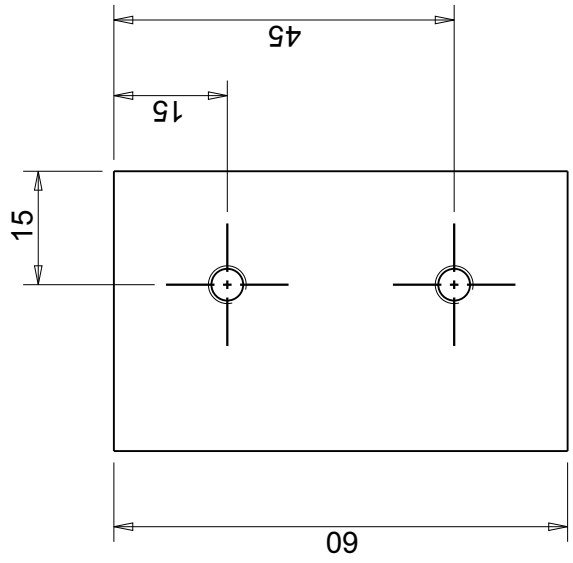
A

C

1

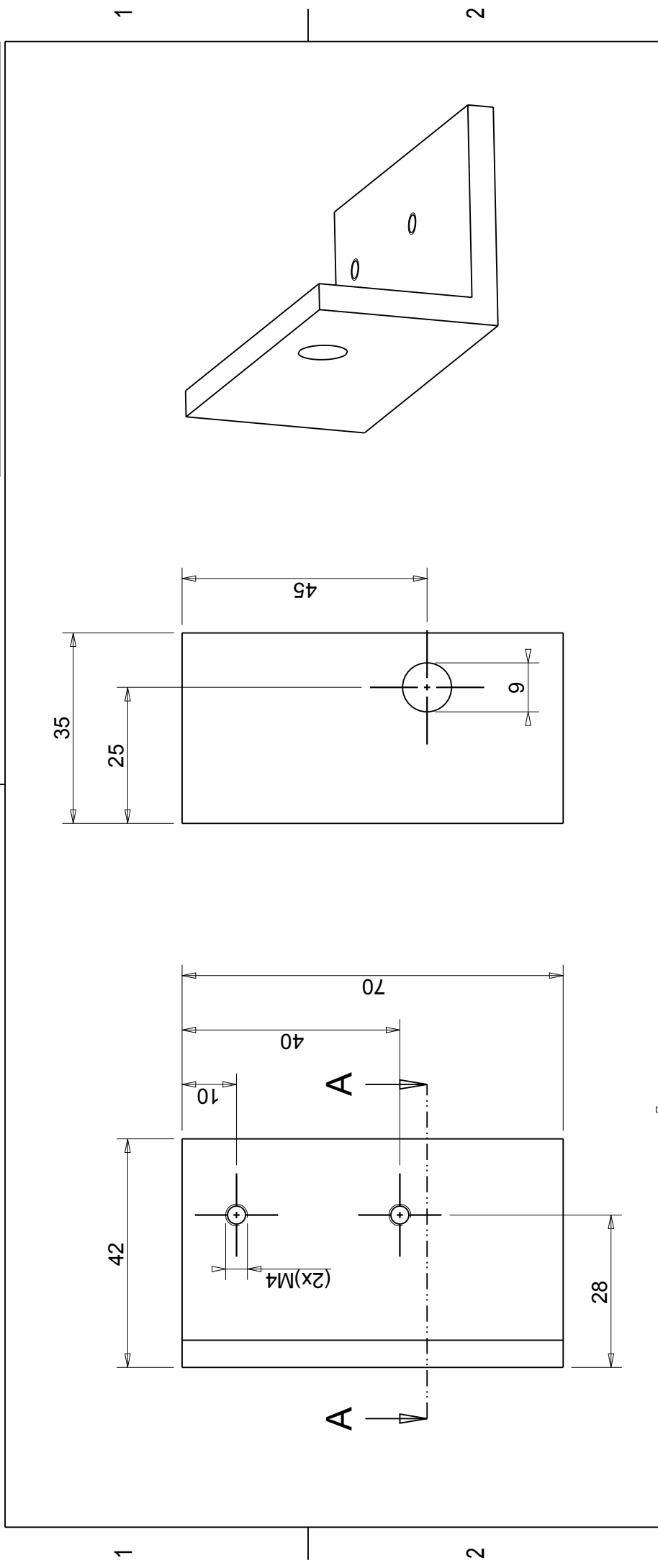
2

3

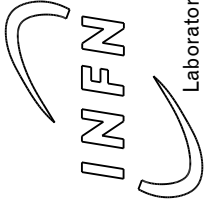


UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

A B



1 2 3

Designed by Bordignon Fabio	Signature	Project
Draft by Bordignon Fabio	Date 07/10/2014	Description Portamicroswitch
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.07
Laboratori Nazionali di Legnaro		Draft code: ST_SMO02_04_02_001
		Rev. 0

A B C

A-A

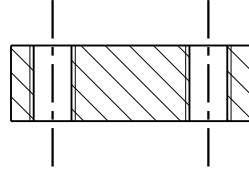
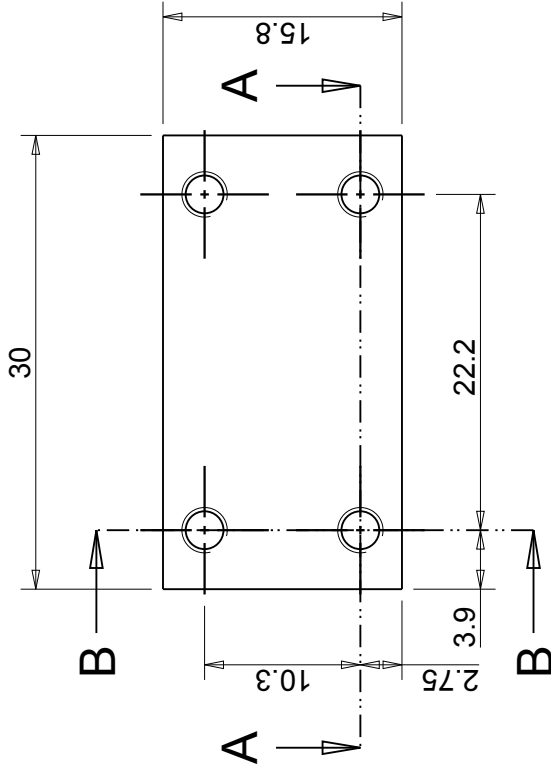
UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

B

A

1

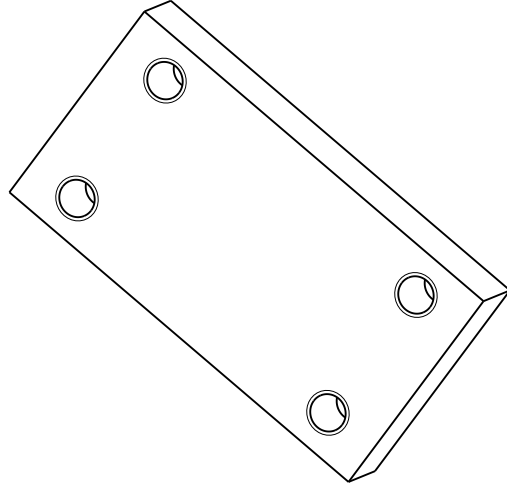
1



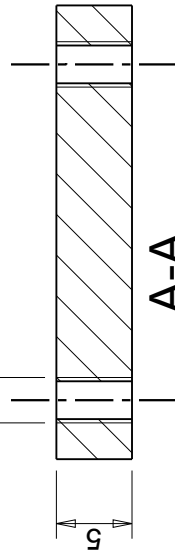
B-B

2

2

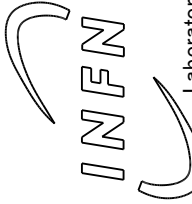


(4x)M3



A-A

3

Designed by Fabio Bordignon	Signature	Project
Draft by Fabio Bordignon	Date 03/10/2014	Description Portamicroswitch
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 2:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.01
Laboratori Nazionali di Legnaro		Draft code: ST_SMO02_08_03_002
		Rev. 0

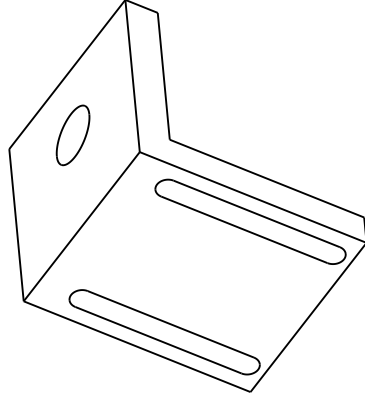
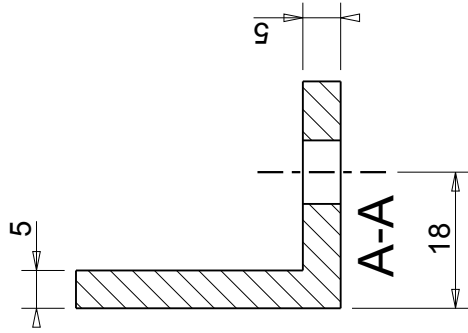
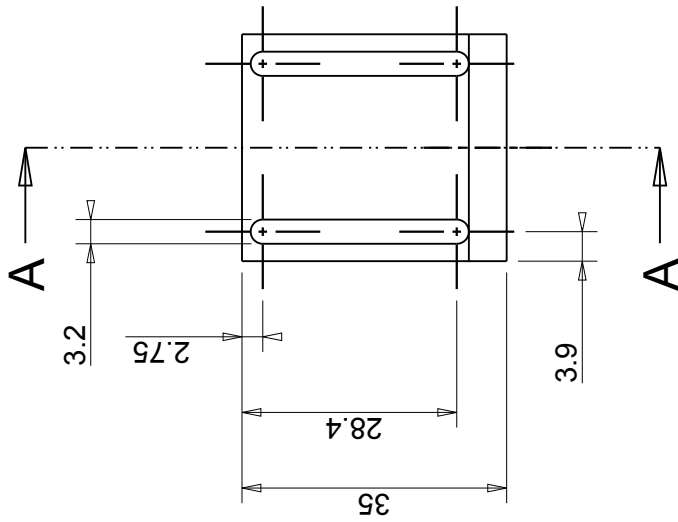
B

A

C

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

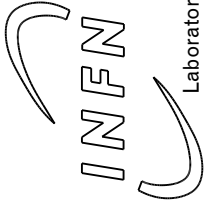
A B



1

2

3

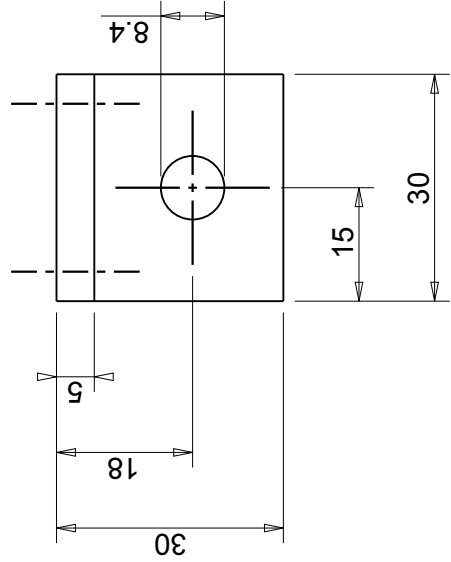
Designed by Fabio Bordignon	Signature	Project
Drafted by Fabio Bordignon	Date 03/10/2014	Description Portamicroswitch
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Mass [kg] 0.02
Laboratori Nazionali di Legnaro		Draft code: ST_SMO02_08_03_001
		Rev. 0

A B C

1

2

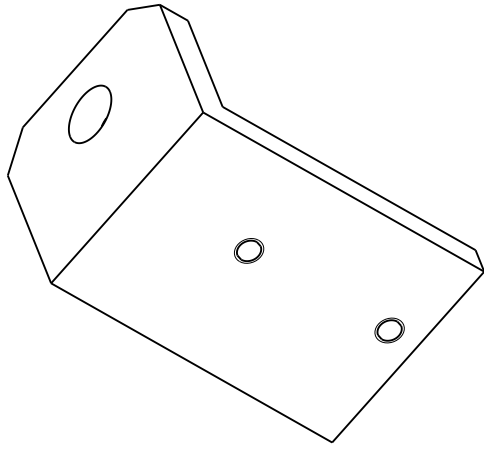
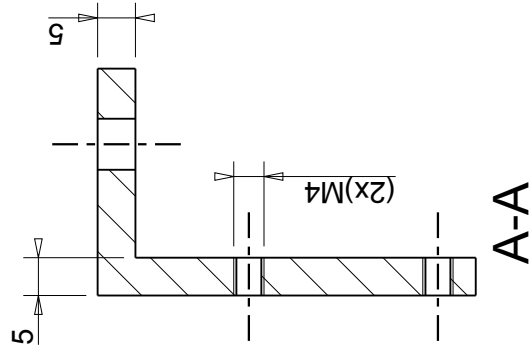
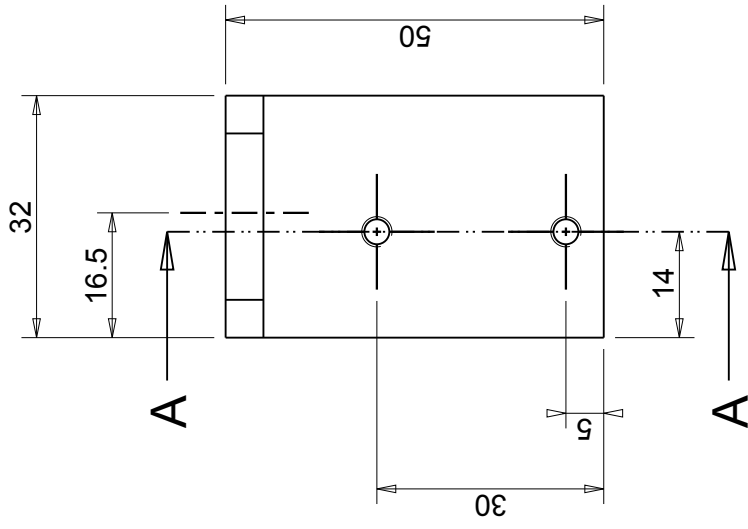
3



UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± 2°

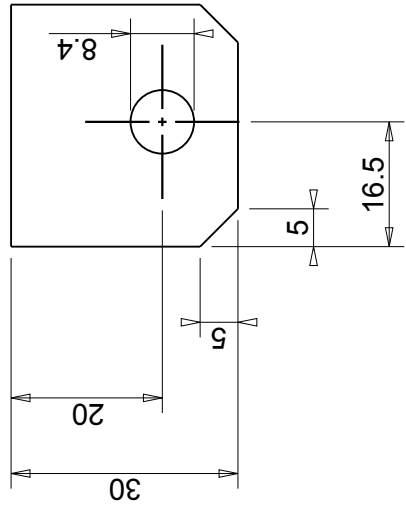
B

A



1

2



3

Designed by Fabio Bordignon	Signature	Project Portamicroswitch	Gen. surf. finish	
Draft by Fabio Bordignon	Date 03/10/2014	Description Portamicroswitch	Scale 1:1	Frm. A4
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material AL6061	Mass [kg] 0.03	Rev. 0
		Treatment	Draft code: ST_SMO02_08_04_001	
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk		

B

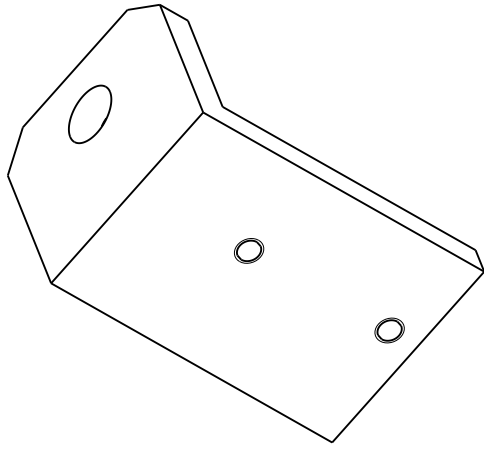
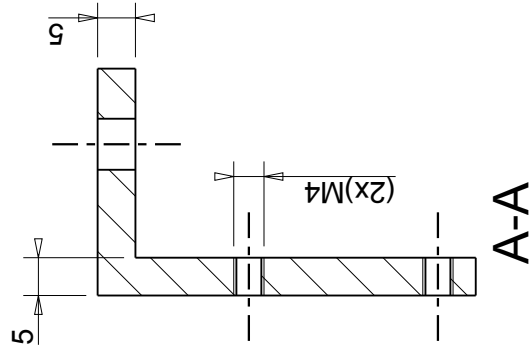
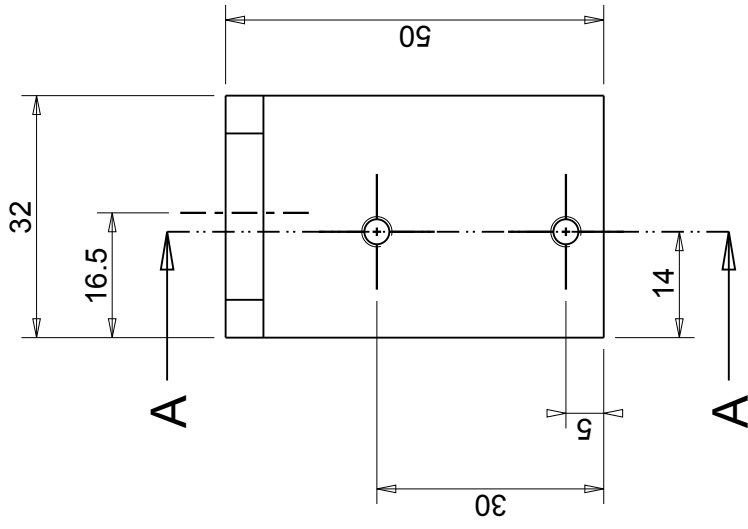
A

C

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± ρ

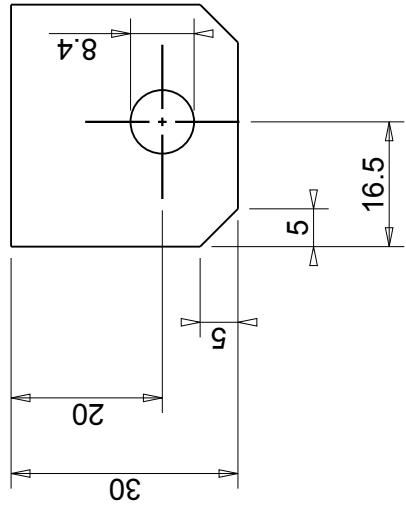
B

A



1

2



3

Designed by Fabio Bordignon	Signature	Project Portamicroswitch	Gen. surf. finish	
Draft by Fabio Bordignon	Date 03/10/2014	Description Portamicroswitch	Scale 1:1	Mass [kg] 0.03
 Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro		Material AL6061	Form. A4	Rev. 0
		Treatment	Draft code: ST_SMO02_08_04_001	
		Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk		

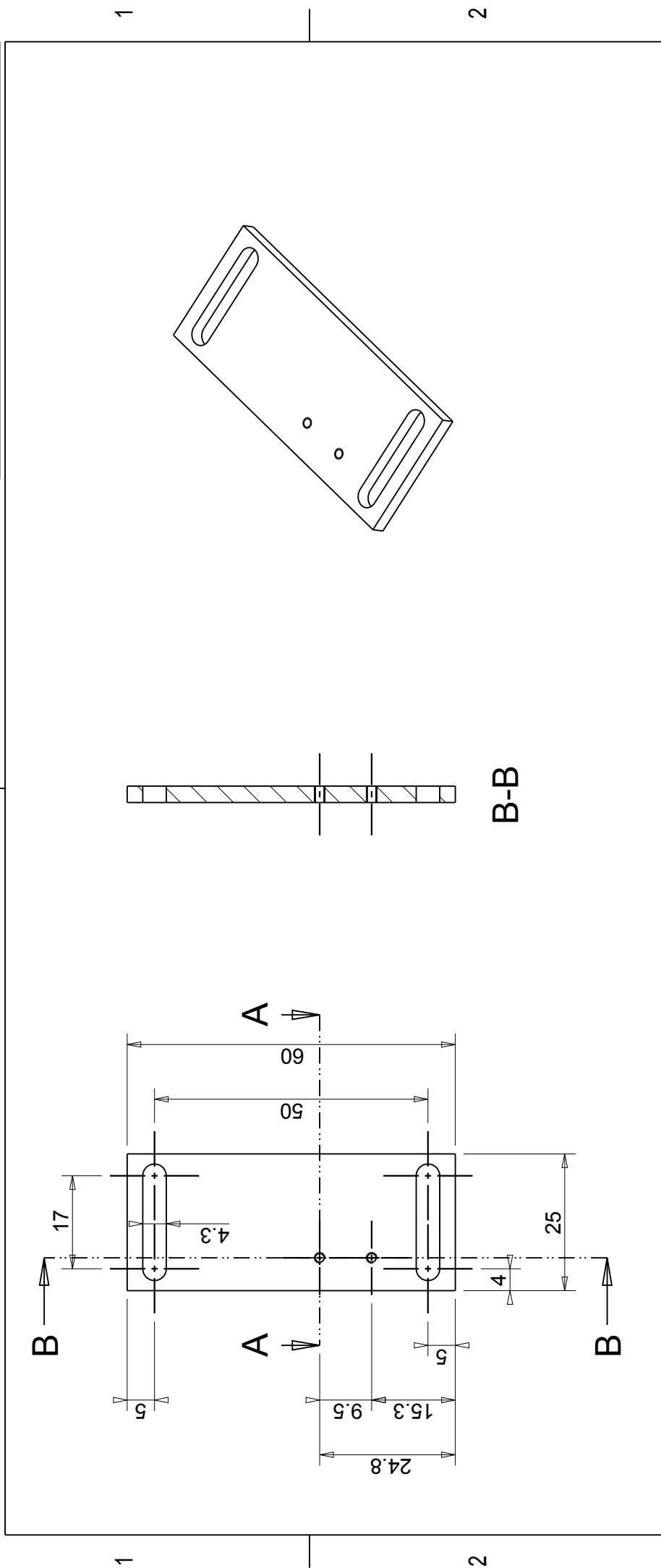
B

A

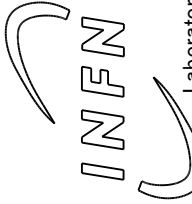
C

UNI-EN 227681-m Tolerances for linear and angular individual tolerance indications "mechanical organs technical designs"			
<= 6	>6 <= 30	>30 <= 120	>120
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
			± R

A B



1 2 3

Designed by Bordignon Fabio	Signature	Project
Drafted by Bordignon Fabio	Date 08/10/2014	Description Portamicroswitch
 INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Laboratori Nazionali di Legnaro	Material AL6061	Gen. surf. finish 3.2
	Treatment	Scale 1:1
	Mass [kg] 0.01	Frm. A4
Technical Drawings ISO 8015 Gen. Tol. UNI-EN 227682-mk	Draft code: ST_SMO02_08_02_01_03_001_0	Rev.

A B C

Programma PLC

Nelle pagine seguenti è riportato il programma implementato dal PLC, nell'ordine: l'elenco dei tipi derivati di variabili, l'elenco delle variabili, l'elenco dei blocchi funzione derivati, le sezioni del blocco funzione derivato `Movimentazione_Asse`, le sezioni del programma. A titolo di esempio è stata riportata solo una delle sezioni SFC che definiscono le sequenze automatiche.

Tipi DDT

Nome	Tipo	Commento
AccDecIn	<Strutt>	
Accelerazione	UDINT	
Decelerazione	UDINT	
Setta	BOOL	
Leggi	BOOL	
AccDecOut	<Strutt>	
Accelerazione	DINT	
Decelerazione	DINT	
Calcoli	<Strutt>	
SpazioFermata	REAL	
Velocita	REAL	
Decelerazione	REAL	
CmdSequenza	<Strutt>	
Vai	BOOL	
Stop	BOOL	
Resetta	BOOL	
Fatto	BOOL	
Divieti	<Strutt>	
LimitePos	DINT	
LimiteNeg	DINT	
Pos	BOOL	
Neg	BOOL	
Durata	<Strutt>	
min	UDINT	
sec	UDINT	
DurateSequenza	<Strutt>	
Totale	Durata	
Mov1El	ARRAY[1..25] OF Durata	
Mov2Car	ARRAY[1..25] OF Durata	
Mov3Gru	ARRAY[1..25] OF Durata	
Errore	<Strutt>	
ErroreAsse	BOOL	
ErroreMov	BOOL	
Errore	BOOL	
JogOut	<Strutt>	
Modo	DINT	
ModoErrLet	BOOL	
ModoStep	BOOL	
ModoContinuo	BOOL	
LimitiMov	<Strutt>	
Pos	DINT	
Neg	DINT	
LimitiPos	<Strutt>	
Mov1El	LimitiMov	
Mov2Car	LimitiMov	
Mov3Gru	LimitiMov	
ModoMovimentazione	<Strutt>	

Tipi DDT

Nome	Tipo	Commento
Auto	BOOL	
Jog	BOOL	
MovRel	BOOL	
RilPos	BOOL	
MovAss	BOOL	
Monitoraggio	<Strutt>	
Durata	Durata	
Spazio	UDINT	
Giri	UDINT	
MovAuto	<Strutt>	
Potenza	BOOL	
RilPos	RilevamentoPosizione	
MovAss	MovimentiAssoluti	
AccDec	AccDecIn	
Stop	BOOL	
Movimentazione	<Strutt>	Struttura usata con Movimentazione_Asse per controllo azionamento
Accendi	BOOL	
Pronto	BOOL	
AzNonRilevato	BOOL	
I	MovInput	
O	MovOutput	
MovimentiAssoluti	<Strutt>	
Meta	DINT	
Velocita	UDINT	
Vai	BOOL	
MovInput	<Strutt>	
PU	Pulsanti	
Auto	MovAuto	
kt	REAL	
Scala	ScalaValoriMovIn	
Parametri	ParametriIn	
VietaMov	Divieti	
MovOutput	<Strutt>	
Posizione	DINT	
Velocita	DINT	
Corrente	INT	
Coppia	REAL	
NoFermo	BOOL	
Attivo	BOOL	
AccDec	AccDecOut	
Jog	JogOut	
Parametri	PrametriOut	
Scala	ScalaValoriMovOut	
Modo	ModoMovimentazione	
ModoRilPos	RilPosModo	
RilPosOK	BOOL	
MovAssFinito	BOOL	
RilPosFinito	BOOL	
PosizioneMEM	DINT	
PosFermata	DINT	
PosFermataVera	DINT	
FermaE	BOOL	
Err	Errore	
MovUso	<Strutt>	

Tipi DDT

Nome	Tipo	Commento
Spazio	UDINT	
Giri	UDINT	
ParametriIn	<Strutt>	
Indice	UINT	
SubIndice	UINT	
Leggi	BOOL	
Setta	BOOL	
Lunghezza	UINT	
Valore	DINT	
Salva	BOOL	
Prame triOut	<Strutt>	
Valore	DINT	
Lunghezza	UINT	
Pulsanti	<Strutt>	
Accendi	BOOL	
Spegni	BOOL	
PotenzaON	BOOL	
PotenzaOFF	BOOL	
Modo	PulsantiModo	
Jog	PulsantiJog	
MovRel	PulsantiMR	
RilPos	RilevamentoPosizione	
MovAss	MovimentiAssoluti	
AccDec	AccDecIn	
Stop	BOOL	
ResetErr	BOOL	
StopE	BOOL	
ResetE	BOOL	
PulsantiJog	<Strutt>	
Avanti	BOOL	
Indietro	BOOL	
AvantiVeloce	BOOL	
IndietroVeloce	BOOL	
VelocitaAlta	UDINT	
VelocitaBassa	UDINT	
PulsantiModo	<Strutt>	
AutoON	BOOL	
Jog	BOOL	
MovRel	BOOL	
RilPos	BOOL	
MovAss	BOOL	
AutoOFF	BOOL	
PulsantiMR	<Strutt>	
Spostamento	DINT	
Velocita	UDINT	
Esegui	BOOL	
RilevamentoPosizione	<Strutt>	
Posizione	DINT	
Velocita	DINT	
Modo	RilPosModo	
Rileva	BOOL	
PosAzOK	BOOL	
RilPosModo	<Strutt>	

Tipi DDT

Nome	Tipo	Commento
LIMN	BOOL	
LIMP	BOOL	
PosAtt	BOOL	
PosAttMEM	BOOL	
ScalaIn	<Strutt>	
Den	DINT	
Num	DINT	
Leggi	BOOL	
Setta	BOOL	
ScalaOut	<Strutt>	
Den	DINT	
Num	DINT	
ScalaValoriMovIn	<Strutt>	
Pos	ScalaIn	
Vel	ScalaIn	
Acc	ScalaIn	
ScalaValoriMovOut	<Strutt>	
Pos	ScalaOut	
Vel	ScalaOut	
Acc	ScalaOut	
Sequenza	<Strutt>	Struttura usata per il controllo delle movimentazioni automatiche
Attiva	BOOL	
Azione	BOOL	
Azzerata	BOOL	
Completato	BOOL	
Velocita	<Strutt>	
V	UDINT	
C	UDINT	

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
Abilita1El	BOOL				Nessuno	
Abilita2Car	BOOL				Nessuno	
Abilita3Gru	BOOL				Nessuno	
AbilitaAggancia	BOOL				Nessuno	
AbilitaSgancia	BOOL				Nessuno	
Agganciato	EBOOL	%I0.1.0			Nessuno	
AgganciatoProseguì	BOOL				Nessuno	
AgganciatoSpia	BOOL	%MW701.0			Nessuno	
Aggancio	EBOOL	%Q0.5.0			Nessuno	
AssegnaPos1El_GiuV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos1El_MezzoC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos1El_MezzoV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos1El_SuC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos1El_SuTuttoC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_AvantiC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_AvantiMezzo0V	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_AvantiMezzoCamC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_AvantiV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_IndietroC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_IndietroV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_MezzoCamC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_MezzoCamV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_MezzoCopC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos2Car_MezzoCopV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_CamMulV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_CopAppV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_GiuV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_SuC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_SuCamC	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_SuCamV	BOOL				Nessuno	
AssegnaPos3Gru_SuV	BOOL				Nessuno	
AutoAggancia	BOOL				Nessuno	
AutoAgganciaPU	BOOL	%MW760.0			Nessuno	

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
AutoAzione	BOOL	%MW723.0			Nessuno	
AutoConsenso	BOOL				Nessuno	
AutoConsenso Continuo	BOOL	%MW781.0			Nessuno	
AutoConsenso NonNecessario	BOOL				Nessuno	
AutoConsensoPU	BOOL	%MW780.0			Nessuno	
AutoConsenso Richiesto	BOOL	%MW780.8			Nessuno	
AutoMov1EIRilevaPos	BOOL				Nessuno	
AutoMov2CarRilevaPos	BOOL				Nessuno	
AutoMov3GruRilevaPos	BOOL				Nessuno	
AutoOFFPU	BOOL	%MW710.8			Nessuno	
AutoONPU	BOOL	%MW710.0			Nessuno	
AutoRilevamentoPosizioni	BOOL				Nessuno	
AutoRilPos2Car_LIMNPU	BOOL	%MW752.8			Nessuno	
AutoRilPos2Car_LIMPPU	BOOL	%MW752.0			Nessuno	
AutoSgancia	BOOL				Nessuno	
AutoSganciaPU	BOOL	%MW760.8			Nessuno	
AutoStop1EI	BOOL				Nessuno	
AutoStop2Car	BOOL				Nessuno	
AutoStop3Gru	BOOL				Nessuno	
AxisParamDesc_0	ARRAY[0..461] OF UINT			Type: 407, Ref: 12612, Vers: 1.0		
AxisParamDesc_1	ARRAY[0..461] OF UINT			Type: 407, Ref: 14677, Vers: 1.0		
CarAvanti	DINT		1315			
CarAvantiImposta	BOOL				Nessuno	
CarAvantiMezzo0	DINT		1000			
CarAvantiMezzo0Imposta	BOOL				Nessuno	
CarAvantiMezzo0Vai	BOOL	%MW453.8			Nessuno	
CarAvantiMezzo0Cam	DINT		1170			
CarAvantiMezzo0CamImposta	BOOL				Nessuno	
CarAvantiMezzo0CamVai	BOOL	%MW454.0			Nessuno	
CarAvantiVai	BOOL	%MW454.8			Nessuno	
Carico_Scarico	SFCCHART_STATE					
CarIndietro	DINT		10			
CarIndietroImposta	BOOL				Nessuno	
CarIndietroVai	BOOL	%MW452.0			Nessuno	
CarMezzoCam	DINT		520			
CarMezzoCamImposta	BOOL				Nessuno	
CarMezzoCamVai	BOOL	%MW452.8			Nessuno	
CarMezzoCop	DINT		560			
CarMezzoCopImposta	BOOL				Nessuno	

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
CarMezzoCopVai	BOOL	%MW453.0			Nessuno	
CarScar	Sequenza	%MW729				
CarScar_DepositaCond	EBOOL	%M21			Nessuno	
CarScarPU	BOOL	%MW728.0			Nessuno	
CmdAutoMov	CmdSequenza	%MW720				
CS_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
CS_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
CS_Fine	SFCSTEP_STATE					
CS_IndietroCar	SFCSTEP_STATE					
CS_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
CS_Inizio	SFCSTEP_STATE					
CS_SegnalaFatto	SFCSTEP_STATE					
CS_Sgancia	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru2	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru3	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru4	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru5	SFCSTEP_STATE					
D_AbbassaGru6	SFCSTEP_STATE					
D_AgganciaCam	SFCSTEP_STATE					
D_AgganciaCop	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaEl	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaEl2	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaGru2	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaGru3	SFCSTEP_STATE					
D_AlzaGru4	SFCSTEP_STATE					
D_AvantiCar	SFCSTEP_STATE					
D_AvantiCar2	SFCSTEP_STATE					
D_CentraAvantiCar	SFCSTEP_STATE					
D_CentraCar	SFCSTEP_STATE					
D_CentraCarCam	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
D_Fine	SFCSTEP_STATE					
D_IndietroCar	SFCSTEP_STATE					
D_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
D_Inizio	SFCSTEP_STATE					
D_RilevaCam	SFCSTEP_STATE					
D_RilevaCop	SFCSTEP_STATE					
D_SegnalaFatto	SFCSTEP_STATE					
D_SganciaCam	SFCSTEP_STATE					
D_SganciaCop	SFCSTEP_STATE					
Data_Ora	ARRAY[1..4] OF INT	%SW50				
DataOra	DT					
Deposita	Sequenza	%MW744				
Deposita_Camera	SFCCHART_STATE					
DepositaPU	BOOL	%MW743.0			Nessuno	
DurataCarScar	DurateSequenza					
DurataCarScarTot	Durata	%MW850				
DurataDeposita	DurateSequenza					
DurataDepositaTot	Durata	%MW862				
DurataMettiCop	DurateSequenza					
DurataMettiCopTot	Durata	%MW866				
DurataPreleva	DurateSequenza					
DurataPrelevaTot	Durata	%MW858				
DurataTogliCop	DurateSequenza					
DurataTogliCopTot	Durata	%MW854				
ElGiu	DINT		0			
ElGiuImposta	BOOL				Nessuno	
ElGiuVai	BOOL	%MW252.0			Nessuno	
ElMezzo	DINT		92			
ElMezzoImposta	BOOL				Nessuno	
ElMezzoVai	BOOL	%MW252.8			Nessuno	
ElSu	DINT		260			
ElSuImposta	BOOL				Nessuno	
ElSuTutto	DINT		365			
ElSuTuttoImposta	BOOL				Nessuno	
ElSuTuttoVai	BOOL	%MW253.8			Nessuno	
ElSuVai	BOOL	%MW253.0			Nessuno	
ErrSensGancio	EBOOL	%M12			Nessuno	
FattoreScalaPos	DINT		10	Fattore di scala per passare da decimi di millimetro a millimetri		
Fungo	BOOL	%MW713.0			Nessuno	

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
Fungo1El	BOOL	%MW250.0			Nessuno	
Fungo1ElReset	BOOL	%MW250.8			Nessuno	
Fungo2Car	BOOL	%MW450.0			Nessuno	
Fungo2CarReset	BOOL	%MW450.8			Nessuno	
Fungo3Gru	BOOL	%MW650.0			Nessuno	
Fungo3GruReset	BOOL	%MW650.8			Nessuno	
FungoReset	BOOL	%MW713.8			Nessuno	
GruCamMul	DINT		79			
GruCamMulImposta	BOOL				Nessuno	
GruCamMulVai	BOOL	%MW653.8			Nessuno	
GruCopApp	DINT		44			
GruCopAppImposta	BOOL				Nessuno	
GruCopAppVai	BOOL	%MW652.8			Nessuno	
GruGiu	DINT		278			
GruGiuImposta	BOOL				Nessuno	
GruGiuVai	BOOL	%MW654.0			Nessuno	
GruSu	DINT		0			
GruSuCam	DINT		64			
GruSuCamImposta	BOOL				Nessuno	
GruSuCamVai	BOOL	%MW653.0			Nessuno	
GruSuImposta	BOOL				Nessuno	
GruSuVai	BOOL	%MW652.0			Nessuno	
IgnoraAssenzaOggetto	BOOL	%MW761.0			Nessuno	
IgnoraVincoli	BOOL	%MW699.0			Nessuno	
ImpostaPos	BOOL				Nessuno	
ImpostaPosOFF	BOOL				Nessuno	
ImpostaPosON	BOOL				Nessuno	
iST	INT	%MW777				
Lim	LimitiPos			Finecorsa meccanici movimentazioni		
LimCar1	DINT		160	Limite esterno dietro sarcofago		
LimCar2	DINT		335	Limite davanti appoggio coperchio		
LimCar3	DINT		455	Limite interno dietro sarcofago		
LimCar4	DINT		665	Limite interno davanti sarcofago		
LimCar5	DINT		958	Limite esterno davanti sarcofago		
LimGru	DINT		70	Limite sopra appoggio coperchio		
MC_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
MC_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
MC_AbbassaGru2	SFCSTEP_STATE					
MC_AgganciaCop	SFCSTEP_STATE					
MC_AlzaEl	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
MC_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
MC_AlzaGru2	SFCSTEP_STATE					
MC_CentraCar	SFCSTEP_STATE					
MC_Fine	SFCSTEP_STATE					
MC_IndietroCar	SFCSTEP_STATE					
MC_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
MC_Inizio	SFCSTEP_STATE					
MC_RilevaCop	SFCSTEP_STATE					
MC_SignalaFatto	SFCSTEP_STATE					
MC_SganciaCop	SFCSTEP_STATE					
Metti_Coperchio	SFCCHART_STATE					
MettiCop	Sequenza	%MW747				
MettiCop_StressTestCond	EBOOL	%M25			Nessuno	
MettiCopPU	BOOL	%MW746.0			Nessuno	
ModoAuto	BOOL	%MW711.0			Nessuno	
Monitor1El	Monitoraggio	%MW800				
Monitor2Car	Monitoraggio	%MW810				
Monitor3Gru	Monitoraggio	%MW820				
Mot1El_Axis	AXIS_REF			Variabile dichiarata per l'asse: Mot1_Elevatore		
Mot2Car_Axis	AXIS_REF			Variabile dichiarata per l'asse: Mot2_Carrello		
Mot3Gru_Axis	AXIS_REF			Variabile dichiarata per l'asse: Mot3_Gru		
Mov1El	Movimentazione	%MW100		Variabile struttura per il controllo dell'azionamento 1 elevatore		
Mov1El_S_Giu	DINT		19			
Mov1ElFatto	BOOL				Nessuno	
Mov1ElFattoProsegu	BOOL				Nessuno	
Mov1ElFermo	BOOL				Nessuno	
Mov1ElMovAssvai	BOOL	%MW251.0			Nessuno	
Mov2Car	Movimentazione	%MW300		Variabile struttura per il controllo dell'azionamento 2 carrello		
Mov2Car_S_Avanti	DINT		1301			
Mov2Car_S_Indietro	DINT		19			
Mov2CarFatto	BOOL				Nessuno	
Mov2CarFattoProsegu	BOOL				Nessuno	

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
Mov2CarFermo	BOOL				Nessuno	
Mov2CarMovAssVai	BOOL	%MW451.0			Nessuno	
Mov3Gru	Movimentazione	%MW500		Variabile struttura per il controllo dell'azionamento 3 gru		
Mov3Gru_S_Su	DINT		19			
Mov3GruFatto	BOOL				Nessuno	
Mov3GruFattoProsegu	BOOL				Nessuno	
Mov3GruFermo	BOOL				Nessuno	
Mov3GruMovAssVai	BOOL	%MW651.0			Nessuno	
MovInCorso	BOOL	%MW722.0			Nessuno	
nST	INT	%MW776				
OggettoAssente	BOOL	%MW761.8			Nessuno	
OggettoNO	EBOOL	%M11			Nessuno	
OggettoPresente	BOOL				Nessuno	
OggettoPresenteProsegu	BOOL				Nessuno	
OggettoSI	EBOOL	%M10			Nessuno	
P_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
P_AbbassaEl2	SFCSTEP_STATE					
P_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
P_AbbassaGru2	SFCSTEP_STATE					
P_AbbassaGru3	SFCSTEP_STATE					
P_AbbassaGru4	SFCSTEP_STATE					
P_AgganciaCam	SFCSTEP_STATE					
P_AgganciaCop	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaEl	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaGru2	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaGru3	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaGru4	SFCSTEP_STATE					
P_AlzaGru5	SFCSTEP_STATE					
P_AvantiCar	SFCSTEP_STATE					
P_CentraCar2	SFCSTEP_STATE					
P_CentraCarCam	SFCSTEP_STATE					
P_Fine	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
P_IndietroCar	SFCSTEP_STATE					
P_IndietroCar2	SFCSTEP_STATE					
P_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
P_Inizio	SFCSTEP_STATE					
P_RilevaCam	SFCSTEP_STATE					
P_RilevaCop	SFCSTEP_STATE					
P_SignalaFatto	SFCSTEP_STATE					
P_Sgancia	SFCSTEP_STATE					
PI_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
PI_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
PI_CentraCar	SFCSTEP_STATE					
PI_Fine	SFCSTEP_STATE					
PI_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
PI_Inizio	SFCSTEP_STATE					
PI_SignalaFatto	SFCSTEP_STATE					
PI_Sgancia	SFCSTEP_STATE					
PID_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
PID_Aggancia	SFCSTEP_STATE					
PID_AlzaEl	SFCSTEP_STATE					
PID_CentraCar	SFCSTEP_STATE					
PID_Fine	SFCSTEP_STATE					
PID_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
PID_Inizio	SFCSTEP_STATE					
PID_RilevaCop	SFCSTEP_STATE					
PID_SignalaFatto	SFCSTEP_STATE					
PIP_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
PIP_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					
PIP_CentraAvantiCar	SFCSTEP_STATE					
PIP_Fine	SFCSTEP_STATE					
PIP_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
PIP_Inizio	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
PIP_SegnalaFatto	SFCSTEP_STATE					
PIP_Sgancia	SFCSTEP_STATE					
Pos13Lim	DINT		318	Limite reciproco elevatore e gru per gancio sopra coperchio senza toccarlo		
Posizione_Iniziale	SFCCHART_STATE					
Posizione_InizialeDep	SFCCHART_STATE					
Posizione_InizPreel	SFCCHART_STATE					
PosizioneCarScar	BOOL				Nessuno	
PosizioneIniziale	BOOL				Nessuno	
PosizioneInizialePreel	BOOL				Nessuno	
PosizioneM	BOOL				Nessuno	
PosLimCamAvanti	DINT		1218	Non utilizzata. Limite dietro bordo telaio con camera agganciata		
PosLimCamIndietro	DINT		1010	Non utilizzata. Limite davanti parete sarcofago con camera agganciata		
Preleva	Sequenza	%MW738				
PrelevaCond	EBOOL	%M23			Nessuno	
PrelevaPU	BOOL	%MW737.0			Nessuno	
Prelievo_Camera	SFCCHART_STATE					
PUAggancia	BOOL	%MW700.0			Nessuno	
PUSgancia	BOOL	%MW700.8			Nessuno	
Recipe_0	ARRAY[0..392] OF BYTE					
Recipe_1	ARRAY[0..392] OF BYTE					
Recipe_2	ARRAY[0..392] OF BYTE					
ResettaAutoRilievamentoPosizioni	BOOL	%MW712.8			Nessuno	
Rileva_Posizioni	SFCCHART_STATE					
RilevaOggetto	BOOL				Nessuno	
RilevaPos	Sequenza	%MW750				
RilevaPosPU	BOOL	%MW749.0			Nessuno	
RilPos2Car_LIMN	BOOL	%MW753.0			Nessuno	
RilPosOK	BOOL	%MW711.8			Nessuno	
RP_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
RP_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
RP_Fine	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
RP_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
RP_Inizio	SFCSTEP_STATE					
RP_MuoviCar	SFCSTEP_STATE					
RP_Segnalafatto	SFCSTEP_STATE					
SensGancioNA	EBOOL	%I0.1.2			Nessuno	
SensGancioNC	EBOOL	%I0.1.3			Nessuno	
SettaPosMEMPU	BOOL	%MW712.0			Nessuno	
Sganciato	EBOOL	%I0.1.1			Nessuno	
SganciatoProseguì	BOOL				Nessuno	
SganciatoSpia	BOOL	%MW701.8			Nessuno	
Sgancio	EBOOL	%Q0.5.1			Nessuno	
Somma13	DINT		369	Limite reciproco di elevatore e gru su bordo sarcofago		
SpazioTot1El	MovUso	%MW830				
SpazioTot2Car	MovUso	%MW834				
SpazioTot3Gru	MovUso	%MW838				
ST_1EIPU	BOOL	%MW770.0			Nessuno	
ST_2CarPU	BOOL	%MW771.0			Nessuno	
ST_3GruPU	BOOL	%MW772.0			Nessuno	
ST_Andata	SFCSTEP_STATE					
ST_CondIniziale	BOOL				Nessuno	
ST_Fine	SFCSTEP_STATE					
ST_Finito	BOOL				Nessuno	
ST_Incremento	SFCSTEP_STATE					
ST_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
ST_Inizio	SFCSTEP_STATE					
ST_InizioCiclo	SFCSTEP_STATE					
ST_MovFatto	BOOL				Nessuno	
ST_MovFatto2	BOOL				Nessuno	
ST_Pausa	SFCSTEP_STATE					
ST_Ritorno	SFCSTEP_STATE					
ST_Segnalafatto	SFCSTEP_STATE					
ST_Velocità	UDINT	%MW774				
Stress_Test	SFCCHART_STATE					
StressTest	Sequenza	%MW755				
StressTest1El	BOOL	%MW770.8			Nessuno	
StressTest2Car	BOOL	%MW771.8			Nessuno	
StressTest3Gru	BOOL	%MW772.8			Nessuno	
StressTestPU	BOOL	%MW754.0			Nessuno	
TC_AbbassaEl	SFCSTEP_STATE					
TC_AbbassaGru	SFCSTEP_STATE					

Variabili

Nome	Tipo	Indirizzo	Valore	Commento	Time stamp	
TC_AbbassaGru2	SFCSTEP_STATE					
TC_AbbassaGru3	SFCSTEP_STATE					
TC_AgganciaCop	SFCSTEP_STATE					
TC_AlzaEl	SFCSTEP_STATE					
TC_AlzaGru	SFCSTEP_STATE					
TC_AlzaGru2	SFCSTEP_STATE					
TC_CentraAvantiCar2	SFCSTEP_STATE					
TC_CentraCar	SFCSTEP_STATE					
TC_Fine	SFCSTEP_STATE					
TC_IndietroCar	SFCSTEP_STATE					
TC_Inizializza	SFCSTEP_STATE					
TC_Inizio	SFCSTEP_STATE					
TC_RilevaCop	SFCSTEP_STATE					
TC_Segnalafatto	SFCSTEP_STATE					
TC_SganciaCop	SFCSTEP_STATE					
tF	TIME		#10ms			
Togli_Coperchio	SFCCHART_STATE					
TogliCop	Sequenza	%MW732				
TogliCopCond	EBOOL	%M22			Nessuno	
TogliCopPU	BOOL	%MW731.0			Nessuno	
TolleranzaPos	DINT		1			
TuttoFermo	BOOL	%MW722.8			Nessuno	
VaiPosIniz	Sequenza	%MW726				
VaiPosIniz_PCond	EBOOL	%M20			Nessuno	
VaiPosInizD	Sequenza	%MW741				
VaiPosInizDCond	EBOOL	%M24			Nessuno	
VaiPosInizDPU	BOOL	%MW740.0			Nessuno	
VaiPosInizP	Sequenza	%MW735				
VaiPosInizPPU	BOOL	%MW734.0			Nessuno	
VaiPosInizPU	BOOL	%MW725.0			Nessuno	
Vel1El	Velocità			Velocità movimentazioni automatiche a vuoto e a carico elevatore		
Vel2Car	Velocità			Velocità movimentazioni automatiche a vuoto e a carico carrello		
Vel3Gru	Velocità			Velocità movimentazioni automatiche a vuoto e a carico gru		

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
Attiva_Mov		<DFB>		
<ingressi>				
Comandi	1	CmdSequenza		
TuttoFermo	2	BOOL		
MovInCorso	3	BOOL		
<uscite>				
<ingressi/uscite>				
Mov	4	Sequenza		
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Attiva		<LD>		
Calcolo_Durata		<DFB>		
<ingressi>				
Attivo	1	BOOL		
Tempo	2	DT		
<uscite>				
Durata	1	Durata		
TempoInizio	2	DT		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Calcolo		<LD>		
Comandi_Gancio		<DFB>		
<ingressi>				
Aggancia	1	BOOL		
Sgancia	2	BOOL		
<uscite>				
Aggancio	1	BOOL		
Sgancio	2	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Operazioni		<FBD>		
Contrilo_Valvole		<DFB>		
<ingressi>				
PU	1	BOOL		
AltraOp	2	BOOL		
<uscite>				
Op	1	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Controllo_Valvole		<LD>		
Conv_TIME_Durata		<DFB>		

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
<ingressi>				
TempoTIME	1	TIME		
<uscite>				
TempoDurata	1	Durata		
TempoSec	2	UDINT		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Conversione		<ST>		
Copia		<DFB>		
<ingressi>				
IN1	1	BOOL		
IN2	2	BOOL		
<uscite>				
OUT1	1	EBOOL		
OUT2	2	EBOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Copia		<ST>		
Gancio_Auto		<DFB>		
<ingressi>				
Abilita	1	BOOL		
Fine	2	BOOL		
AbilitaPU	3	BOOL		
<uscite>				
Attiva	1	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
TON_1		TON		
CTU_UDINT_1		CTU_UDINT		
Fatti		BOOL		
R_TRIG_1		R_TRIG		
<sezioni>				
Operazione		<LD>		
Movimentazione_Asse		<DFB>		Blocco di controllo azionamento
<ingressi>				
Asse	1	AXIS_REF		
Acceso	2	BOOL		
AzNonRilevato	3	BOOL		
In	4	MovInput		
AutoNoFermo	5	BOOL		
FattoreScalaPos	6	DINT		
IgnoraVincoli	7	BOOL		
Tempo	8	DT		
<uscite>				

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
Accensione	1	BOOL		
Out	2	MovOutput		
Monitor	3	Monitoraggio		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
Accendi		BOOL		
DaiPotenza		BOOL		
Potenza		BOOL		
DisabilitaSettaggio		BOOL		
Accelerazione		UDINT		
Decelerazione		UDINT		
RilPosTipo		INT		
RilPosPosizione		DINT		
RilPosVelocita		DINT		
MovAssMeta		DINT		
MovAssVelocita		UDINT		
AccDec_Leggi		BOOL		
AccDec_Setta		BOOL		
AccDec_SettaggioAcc		BOOL		
AccDec_SettaggioDec		BOOL		
Jog_Inizializza		BOOL		
Jog_LeggiModo		BOOL		
Jog_SettaggioModoC ontinuo		BOOL		
Stop		BOOL		
MC_POWER_1		MC_POWER		
MC_RESET_1		MC_RESET		
MC_READAXISERR OR_1		MC_READAXISERRO R		
MC_READSTATUS_ 1		MC_READSTATUS		
SR_3		SR		
SR_4		SR		
MC_READPARAME TER_3		MC_READPARAMETE R		
MC_WRITEPARAM ETER_6		MC_WRITEPARAMET ER		
MC_WRITEPARAM ETER_7		MC_WRITEPARAMET ER		
MC_READPARAME TER_4		MC_READPARAMETE R		
MC_READPARAME TER_5		MC_READPARAMETE R		
MC_WRITEPARAM ETER_9		MC_WRITEPARAMET ER		
MC_READACTUAL POSITION_1		MC_READACTUALP OSITION		
MC_READACTUAL VELOCITY_1		MC_READACTUALVE LOCITY		
MC_READACTUAL TORQUE_1		MC_READACTUALT ORQUE		
DisabilitaJogPos		BOOL		
DisabilitaJogNeg		BOOL		
DisCmdJog		BOOL		
DisabilitaMovRel		BOOL		
DisCmdMR		BOOL		
DisCmdRilPos		BOOL		
DisabilitaMovAss		BOOL		
DisCmdMA		BOOL		
JogAvanti		BOOL		

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
JogIndietro		BOOL		
JogVeloce		BOOL		
MovRelEsegui		BOOL		
RilPosRileva		BOOL		
MovAssVai		BOOL		
SCEGLI_MODO_5		Scegli_Modo		
SETTA_MODO_1		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODO_2		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODO_3		Scegli_Modo_RilPos		
MC_READPARAMETER_1		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_2		MC_WRITEPARAMETER		
MC_READPARAMETER_0		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_3		MC_WRITEPARAMETER		
MC_MOVEABSOLUTE_1		MC_MOVEABSOLUTE		
MC_STOP_1		MC_STOP		
MC_JOG_1		MC_JOG		
MC_MOVERELATIVE_1		MC_MOVERELATIVE		
MC_HOME_1		MC_HOME		
MC_READPARAMETER_2		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_4		MC_WRITEPARAMETER		
MC_READPARAMETER_6		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_5		MC_WRITEPARAMETER		
MC_READPARAMETER_7		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_8		MC_WRITEPARAMETER		
MC_READPARAMETER_8		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_10		MC_WRITEPARAMETER		
MC_READPARAMETER_9		MC_READPARAMETER		
MC_WRITEPARAMETER_11		MC_WRITEPARAMETER		
PosizioneMEM		DINT		
SETTA_MODO_4		Scegli_Modo_RilPos		
Conti		Calcoli		
NoMovPos		BOOL		
NoMovNeg		BOOL		
TogliPotenza		BOOL		
LeggiParamScala		BOOL		
SR_1		SR		
MC_WRITEPARAMETER_12		MC_WRITEPARAMETER		
PosAzionamentoOK		BOOL		
SETTA_MODO_5		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODO_6		Scegli_Modo_RilPos		
TempoInizio		DT		
CONV_TIME_DURATA_1		Conv_TIME_Durata		
CALCOLO_DURATA_1		Calcolo_Durata		

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
CALCOLO_DURAT A_2		Calcolo_Durata		
CALCOLO_DURAT A_3		Calcolo_Durata		
PosInizioMov		DINT		
Referenziato		BOOL		
<sezioni>				
Accensione		<LD>		
Attivazione		<FBD>		
Scelta_Modo		<FBD>		
Permesso		<FBD>		
Parametri		<ST>		
LetturaValoriMov		<FBD>		
InizializzaAttivaLettura		<LD>		
LetturaScrittura_Para metri		<FBD>		
RisultatiLettura		<ST>		
Blocco_Movimentazio ni		<LD>		
Attiva		<LD>		
Movimentazione		<FBD>		
Memorizza_Posizione		<ST>		
Monitoraggio		<LD>		
Scegli_Modo		<DFB>		
<ingressi>				
ModoAutoTOn	1	BOOL		
ModoJogTOn	2	BOOL		
ModoMRTOn	3	BOOL		
ModoRilPosTOn	4	BOOL		
ModoMATOn	5	BOOL		
ModoAutoTOff	6	BOOL		
<uscite>				
Modo	1	ModoMovimentazione		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
SETTAMODO_1		Scegli_Modo_RilPos		
SETTAMODO_2		Scegli_Modo_RilPos		
SETTAMODO_3		Scegli_Modo_RilPos		
SETTAMODO_4		Scegli_Modo_RilPos		
SETTAMODO_5		Scegli_Modo_RilPos		
ModoID		INT		
<sezioni>				
Scelta		<LD>		
Scegli_Modo_RilPos		<DFB>		
<ingressi>				
PUModo	1	RilPosModo		
<uscite>				
ModoRilPos	1	RilPosModo		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
ModoID		INT		
MEM		BOOL		

Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
<sezioni>				
Scelta		<LD>		
Scegli_Mov		<DFB>		
<ingressi>				
Abilita	1	BOOL		
RilPosOK	2	BOOL		
VaiPosInizTOn	3	BOOL		
VaiPosInizCond	4	BOOL		
CarScarTOn	5	BOOL		
CarScarCond	6	BOOL		
TogliCopTOn	7	BOOL		
TogliCopCond	8	BOOL		
VaiPosInizPTOn	9	BOOL		
VaiPosInizPCCond	10	BOOL		
PrelevaTOn	11	BOOL		
PrelevaCond	12	BOOL		
VaiPosInizDTOn	13	BOOL		
VaiPosInizDCCond	14	BOOL		
DepositaTOn	15	BOOL		
DepositaCond	16	BOOL		
MettiCopTOn	17	BOOL		
MettiCopCond	18	BOOL		
StressTestTOn	19	BOOL		
StressTestCond	20	BOOL		
RilevaPosTOn	21	BOOL		
RilevaPosCond	22	BOOL		
<uscite>				
VaiPosIniz	1	BOOL		
CarScar	2	BOOL		
TogliCop	3	BOOL		
VaiPosInizP	4	BOOL		
Preleva	5	BOOL		
VaiPosInizD	6	BOOL		
Deposita	7	BOOL		
MettiCop	8	BOOL		
StressTest	9	BOOL		
RilevaPos	10	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
SETTA_MODALITA_1		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_2		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_3		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_4		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_5		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_6		Scegli_Modo_RilPos		
SETTA_MODALITA_7		Scegli_Modo_RilPos		
Mov		INT		
<sezioni>				
Scelta		<LD>		
Scegli_StressTest		<DFB>		
<ingressi>				
StressTest1EIPU	1	BOOL		
StressTest1EiCond	2	BOOL		
StressTest2CarPU	3	BOOL		

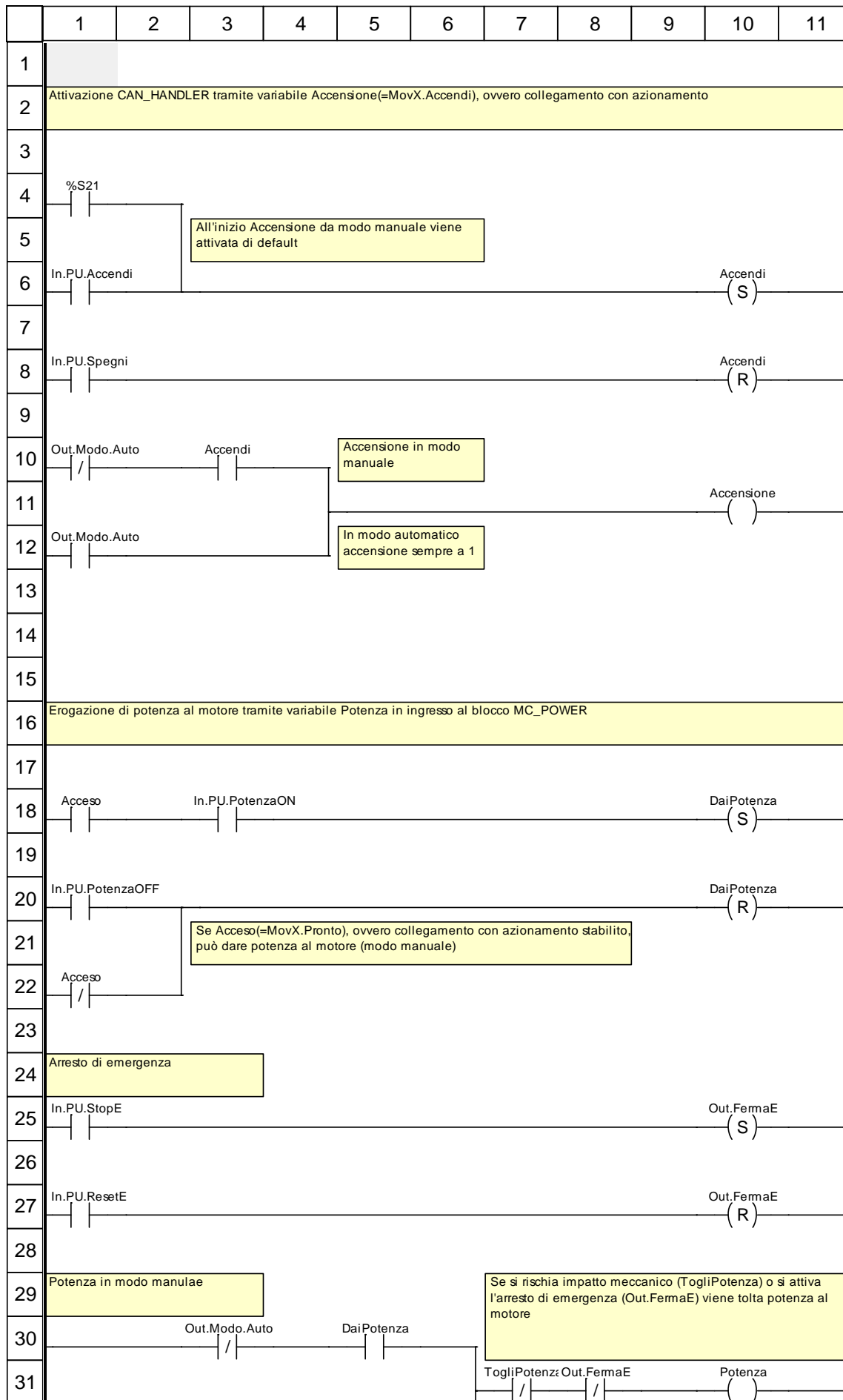
Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
StressTest2CarCond	4	BOOL		
StressTest3GruPU	5	BOOL		
StressTest3GruCond	6	BOOL		
<uscite>				
StressTest1El	1	BOOL		
StressTest2Car	2	BOOL		
StressTest3Gru	3	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
Scelta		INT		
<sezioni>				
Scelta_ST		<LD>		
Scelta		<DFB>		
<ingressi>				
PU1	1	BOOL		
PU2	2	BOOL		
<uscite>				
Scelta1	1	BOOL		
Scelta2	2	BOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Scelta		<LD>		
Spazio_Movimentazione		<DFB>		
<ingressi>				
NoFermo	1	BOOL		
Monitor	2	Monitoraggio		
<uscite>				
<ingressi/uscite>				
SpazioTot	3	MovUso		
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				
Somma		<LD>		
Switch		<DFB>		
<ingressi>				
NC	1	EBOOL		
NA	2	EBOOL		
<uscite>				
Premuto	1	EBOOL		
NonPremuto	2	EBOOL		
Errore	3	EBOOL		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
<sezioni>				

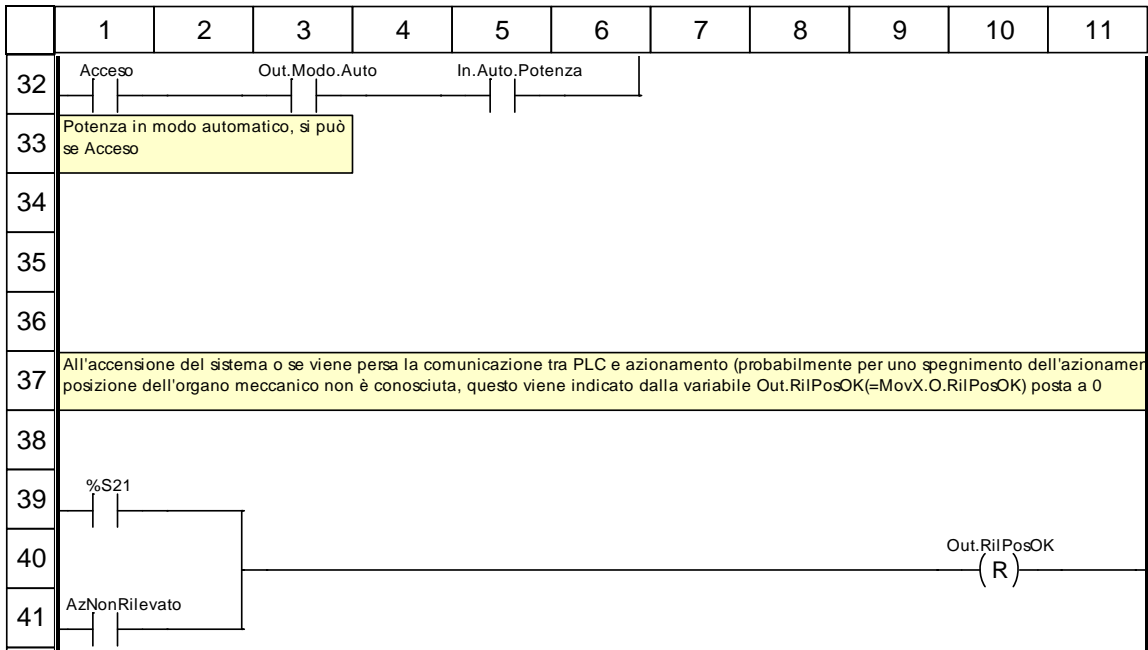
Tipi DFB

Nome	N.	Tipo	Valore	Commento
Identificazione		<FBD>		
Tempi_Movimentazione		<DFB>		
<ingressi>				
MovInCorso	1	BOOL		
Mov1EIFinito	2	BOOL		
Mov2CarFinito	3	BOOL		
Mov3GruFinito	4	BOOL		
Mov1EIDurata	5	Durata		
Mov2CarDurata	6	Durata		
Mov3GruDurata	7	Durata		
Tempo	8	DT		
<uscite>				
DurateSequenza	1	DurateSequenza		
<ingressi/uscite>				
<pubblico>				
<privato>				
i1		INT		
i2		INT		
i3		INT		
CALCOLO_DURATA_1		Calcolo_Durata		
CALCOLO_DURATA_2		Calcolo_Durata		
CALCOLO_DURATA_3		Calcolo_Durata		
CALCOLO_DURATA_4		Calcolo_Durata		
<sezioni>				
Calcolo_Tempi		<LD>		

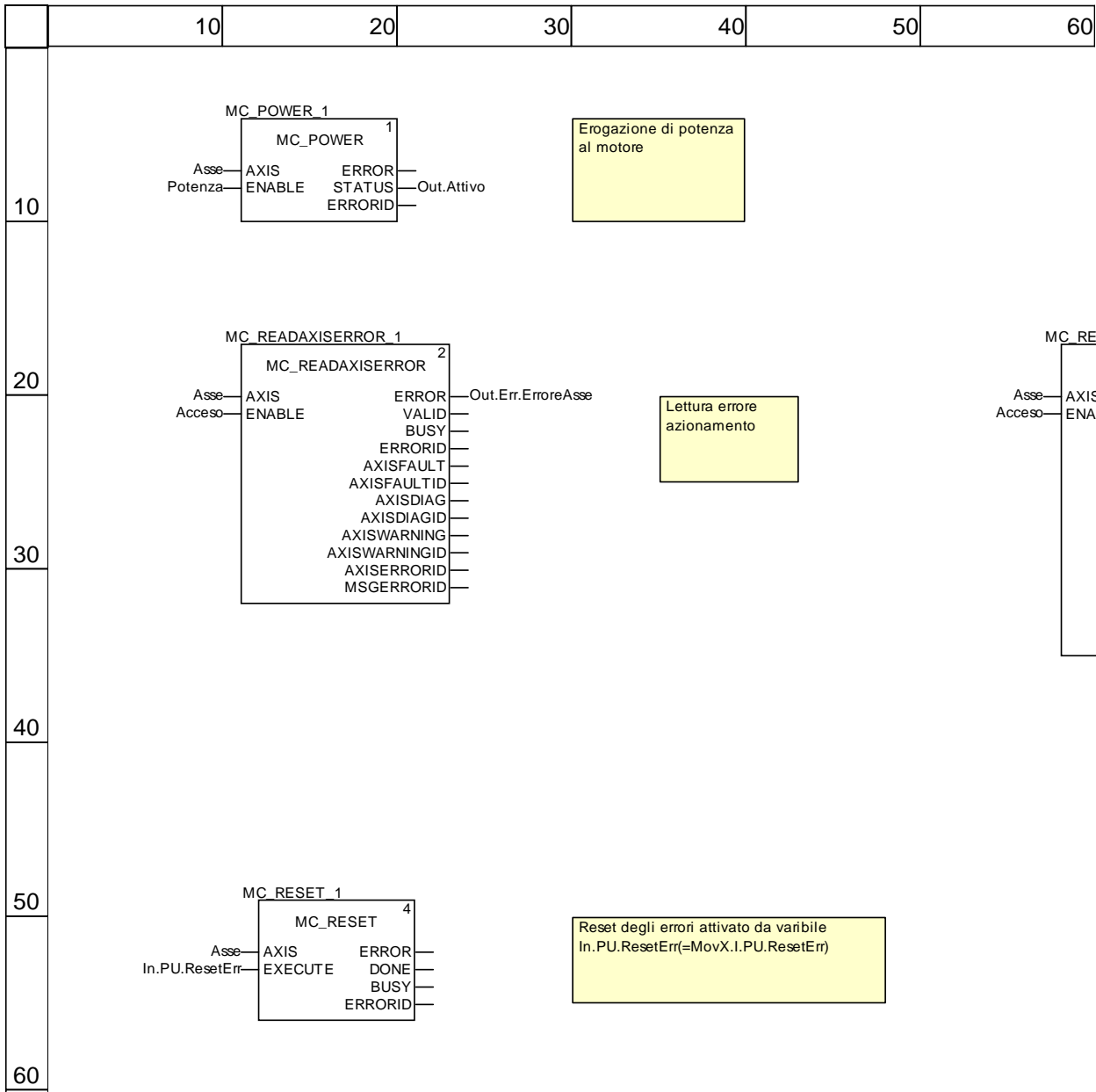
Accensione



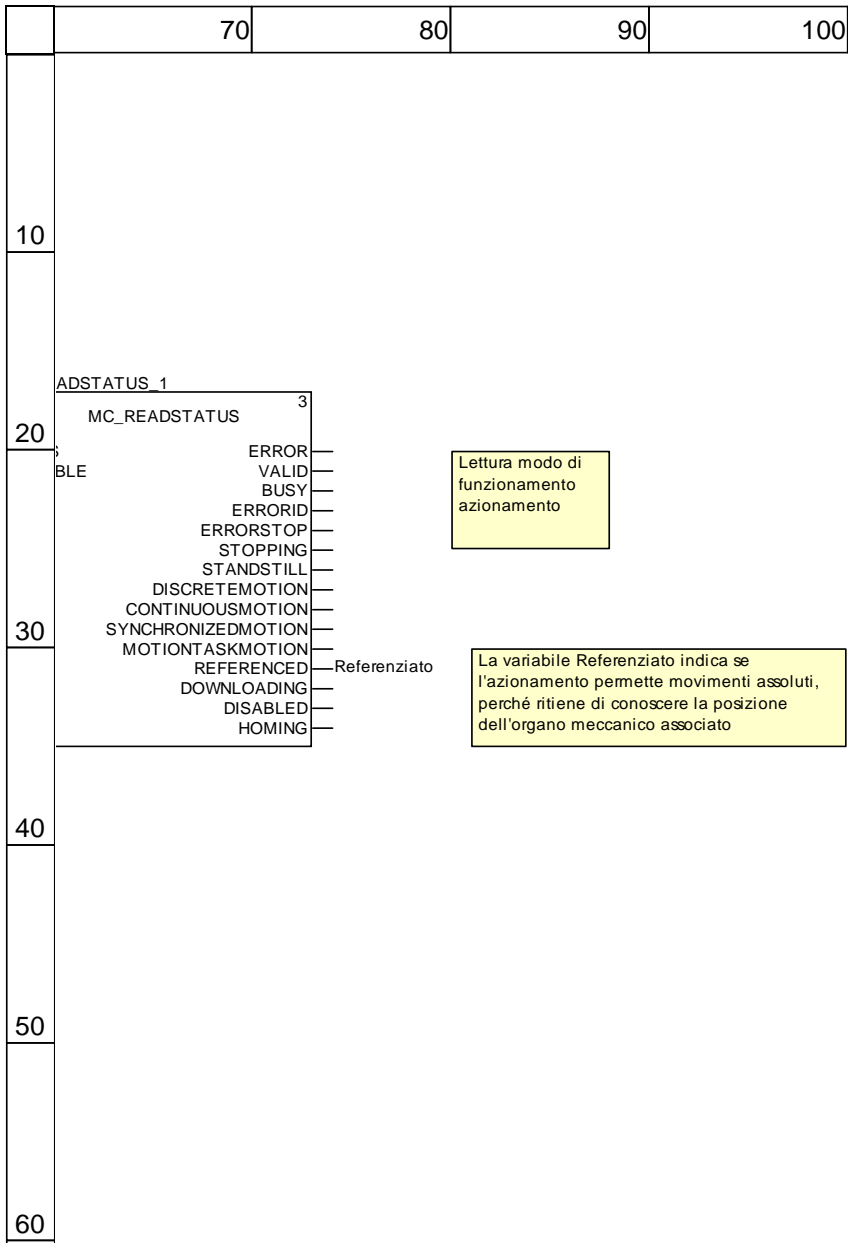
Accensione



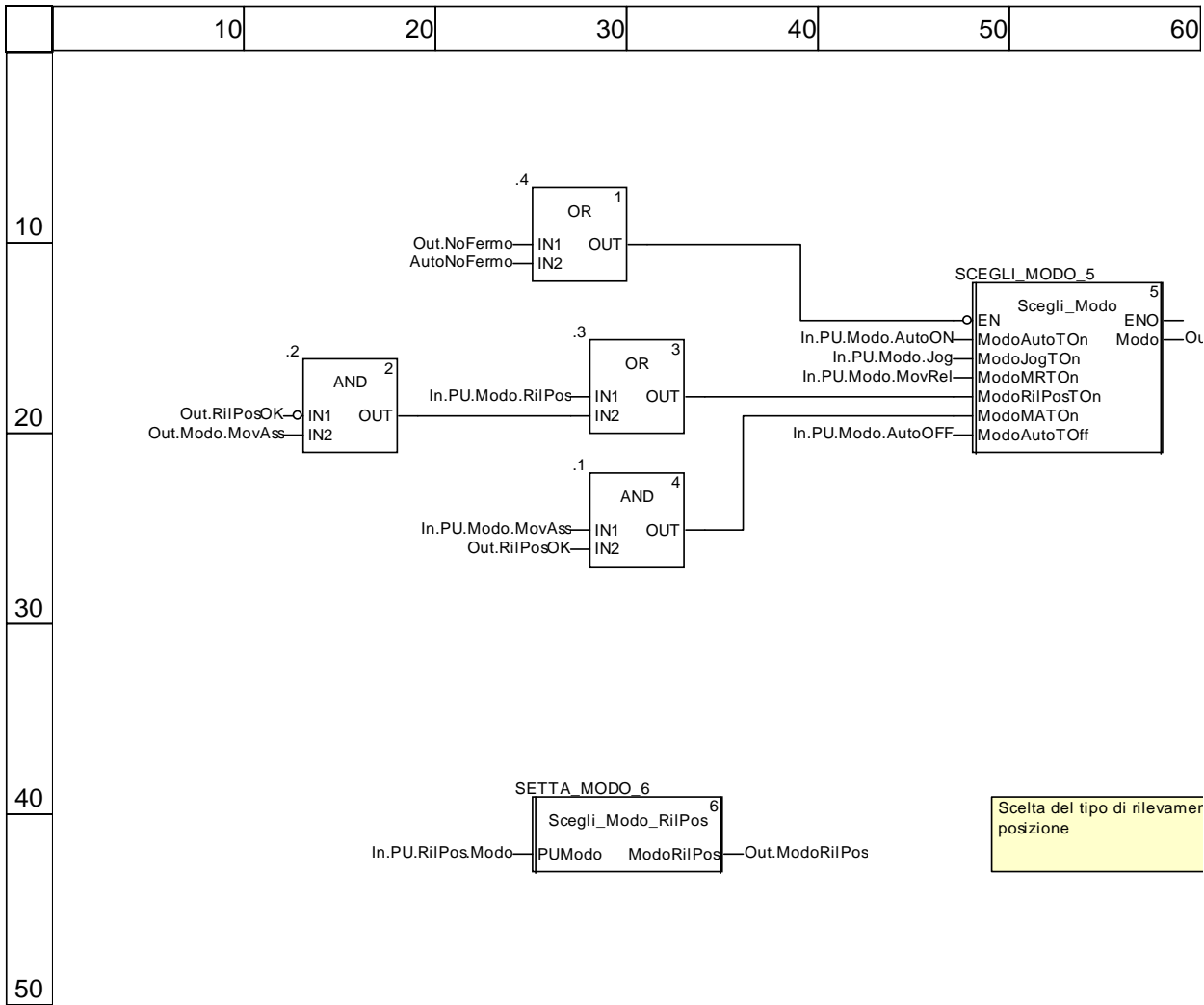
Attivazione



Attivazione



Scelta_Modo



Scelta del tipo di rilevamento posizione

Scelta_Modo

	70	80	90	100
10				
20				
30				
40				
50				

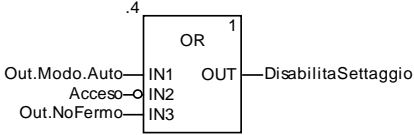
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

it.Modo

Scelta del modo di movimentazione; disabilitata se il motore non è fermo o se è in corso una movimentazione automatica. Se la posizione dell'organo meccanico non è conosciuta, ovvero variabile Out.RilPosOK=0, non si può effettuare movimenti con coordinate assolute

to di

Permesso

	10	20	30	40	50	60
10						
20	 <p>Out.Modo.Auto — IN1 Acceso — IN2 Out.NoFermo — IN3</p> <p>OUT — DisabilitaSettaggio</p>					
30						

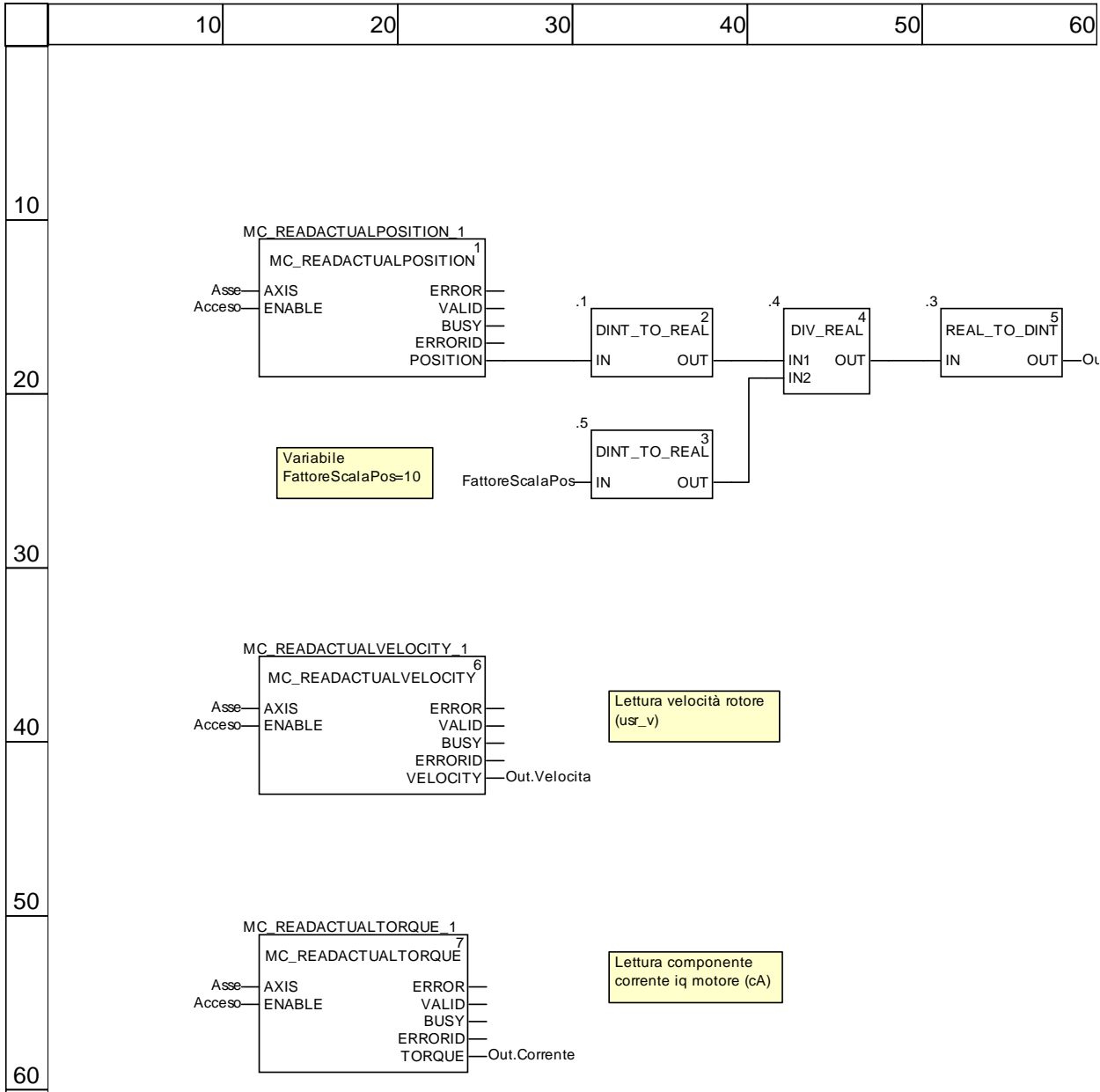
Si possono settare parametri dell'azionamento, ovvero variabile DisabilitaSettaggio=0, se l'azionamento è collegato, il motore è fermo e il modo di movimentazione non è automatico

Parametri

1| 10| 20| 30| 40| 50| 60| 70| 80| 90| 100| 110| 115|

```
1 (*Assegnamento dei valori ai parametri di ingresso ai blocchi che regolano i movimenti del motore*)
2
3 if not(Out.Modo.Auto) then
4 (*Se il modo di funzionamento è manuale i valori dei parametri sono definiti dall'utente*)
5
6
7
8 (*Accelerazione e decelerazione*)
9 Accelerazione:=In.PU.AccDec.Accelerazione;
10 Decelerazione:=In.PU.AccDec.Decelerazione;
11
12
13 (*Tipo di rilevamento posizione*)
14 if Out.ModoRilPos.LIMN then
15   RilPosTipo:=17;
16 else
17   if Out.ModoRilPos.LIMP then
18     RilPosTipo:=18;
19   else
20     if Out.ModoRilPos.PosAtt or Out.ModoRilPos.PosAttMEM then
21       RilPosTipo:=35;
22     else
23       RilPosTipo:=0;
24     end_if;
25   end_if;
26 end_if;
27
28 (*Posizione rilevamento posizione*)
29 if Out.ModoRilPos.PosAttMEM then
30   RilPosPosizione:=Out.PosizioneMEM; (*Memorizzata prima dello spegnimento*)
31 else
32   RilPosPosizione:=In.PU.RilPos.Posizione; (*Definita dall'utente*)
33 end_if;
34
35 (*Velocità rilevamento posizione*)
36 if Out.ModoRilPos.PosAtt or Out.ModoRilPos.PosAttMEM then
37   RilPosVelocita:=1; (*Se si assegna un valore alla posizione corrente senza muovere il*)
38 else (*motore il valore della velocità deve essere comunque diverso da 0*)
39   RilPosVelocita:=In.PU.RilPos.Velocita; (*Definita dall'utente*)
40 end_if;
41
42
43 (*Posizione da raggiungere e velocità movimento assoluto*)
44 MovAssMeta:=In.PU.MovAss.Meta;
45 MovAssVelocita:=In.PU.MovAss.Velocita;
46
47
48
49 else
50 (*Se il modo di funzionamento è automatico i valori dei parametri sono assegnati dal programma*)
51
52
53
54 (*Accelerazione e decelerazione*)
55 Accelerazione:=In.Auto.AccDec.Accelerazione;
56 Decelerazione:=In.Auto.AccDec.Decelerazione;
57
58
59 (*Tipo di rilevamento posizione*)
60 if In.Auto.RilPos.Modo.LIMN then
61   RilPosTipo:=17;
62 else
63   if In.Auto.RilPos.Modo.LIMP then
64     RilPosTipo:=18;
65   else
66     if In.Auto.RilPos.Modo.PosAtt or In.Auto.RilPos.Modo.PosAttMEM then
67       RilPosTipo:=35;
68     else
69       RilPosTipo:=0;
70     end_if;
71   end_if;
72 end_if;
73
74 (*Posizione rilevamento posizione*)
75 if In.Auto.RilPos.Modo.PosAttMEM then
76   RilPosPosizione:=Out.PosizioneMEM; (*Memorizzata prima dello spegnimento*)
77 else
78   RilPosPosizione:=In.Auto.RilPos.Posizione; (*Definita dal programma*)
79 end_if;
80
81 (*Velocità rilevamento posizione*)
82 if In.Auto.RilPos.Modo.PosAtt or In.Auto.RilPos.Modo.PosAttMEM then
83   RilPosVelocita:=1; (*Se si assegna un valore alla posizione corrente senza muovere il*)
84 else (*motore il valore della velocità deve essere comunque diverso da 0*)
85   RilPosVelocita:=In.Auto.RilPos.Velocita; (*Definita dal programma*)
86 end_if;
87
88
89 (*Posizione da raggiungere e velocità movimento assoluto*)
90 MovAssMeta:=In.Auto.MovAss.Meta;
91 MovAssVelocita:=In.Auto.MovAss.Velocita;
92
93
94
95 end_if;
```

Lettura Valori Mov



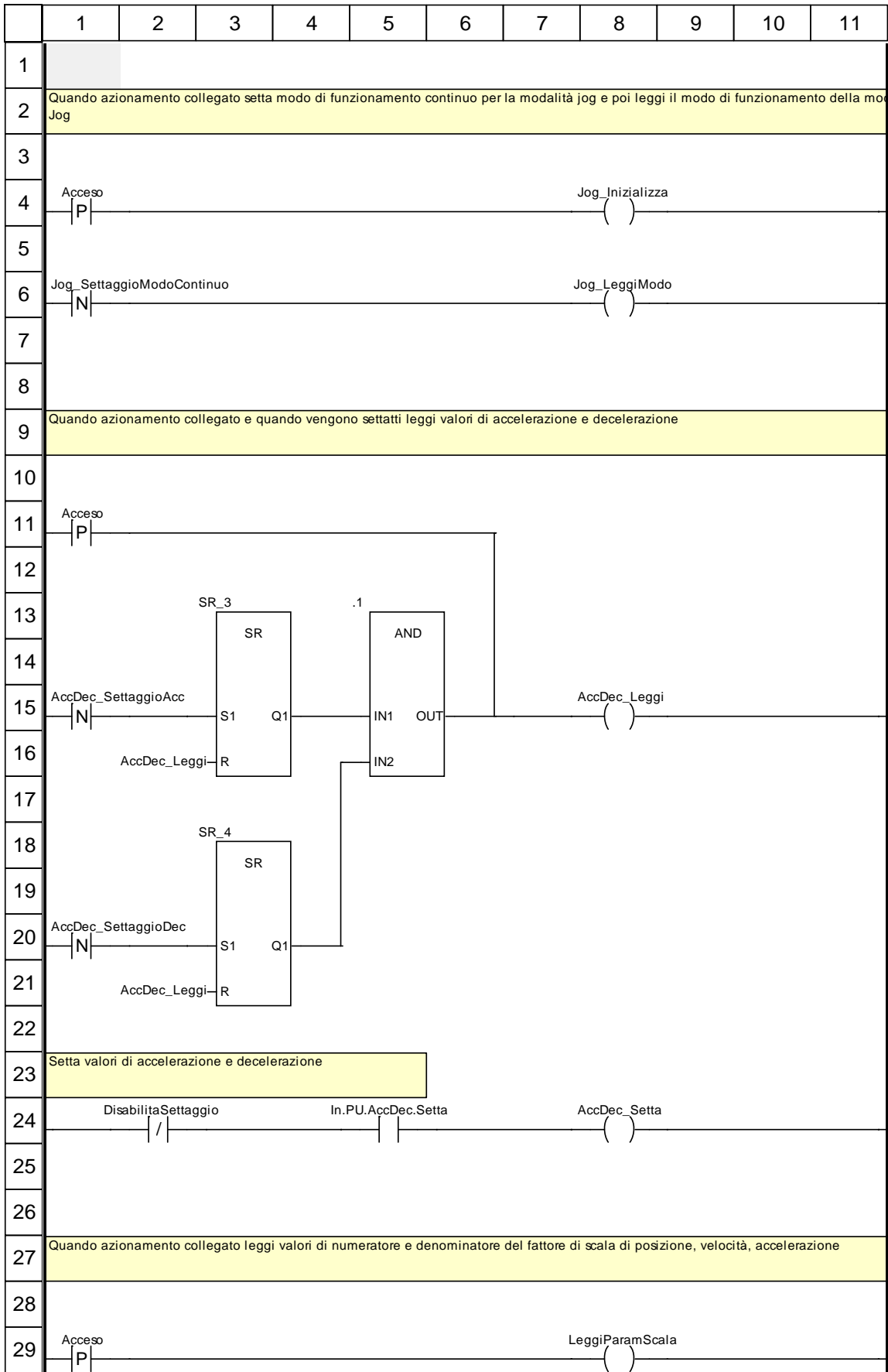
Lettura ValoriMov

	70	80
10		
20		
30		
40		
50		
60		

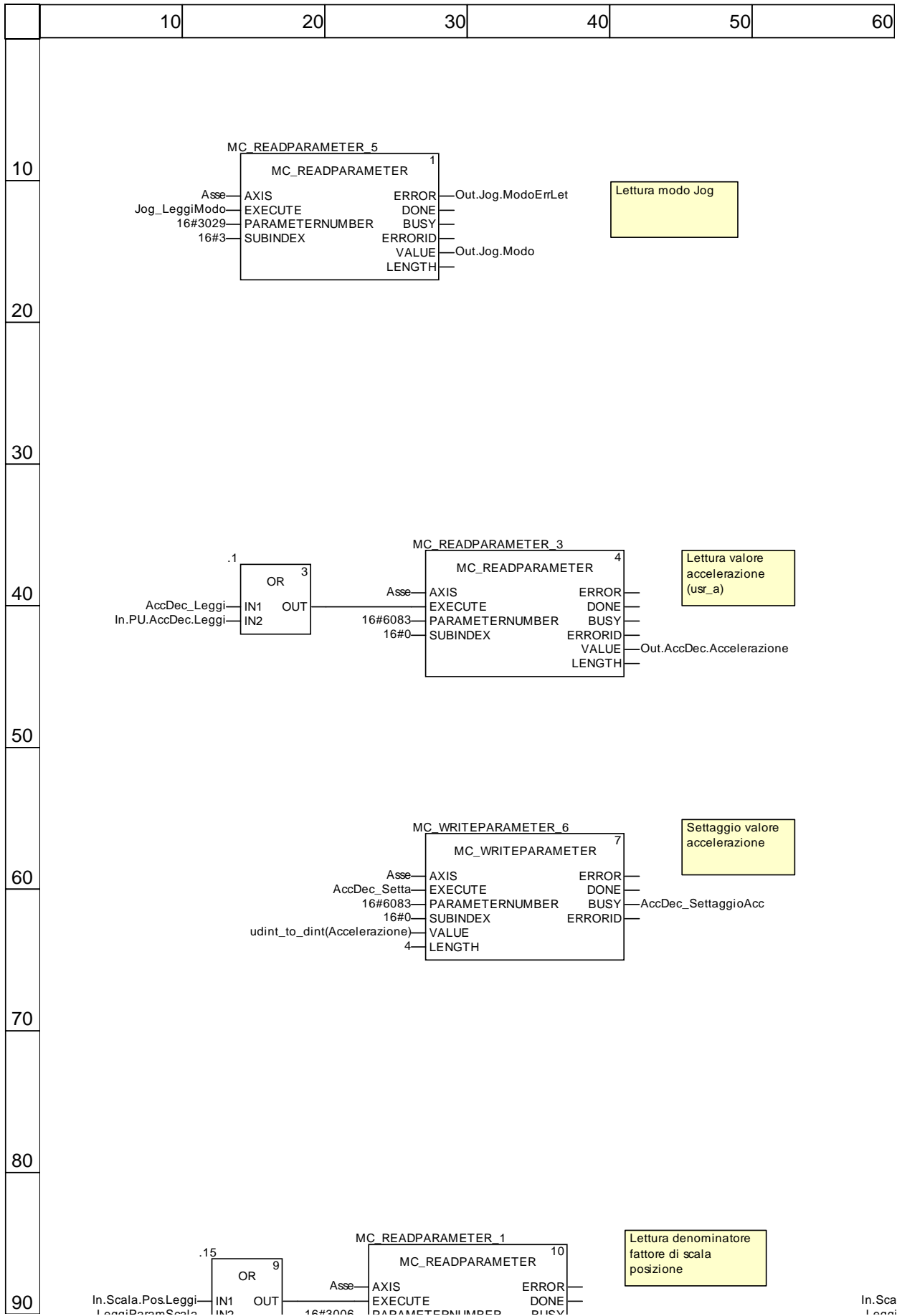
Lettura posizione rotore
(usr_p*10)

it.Posizione

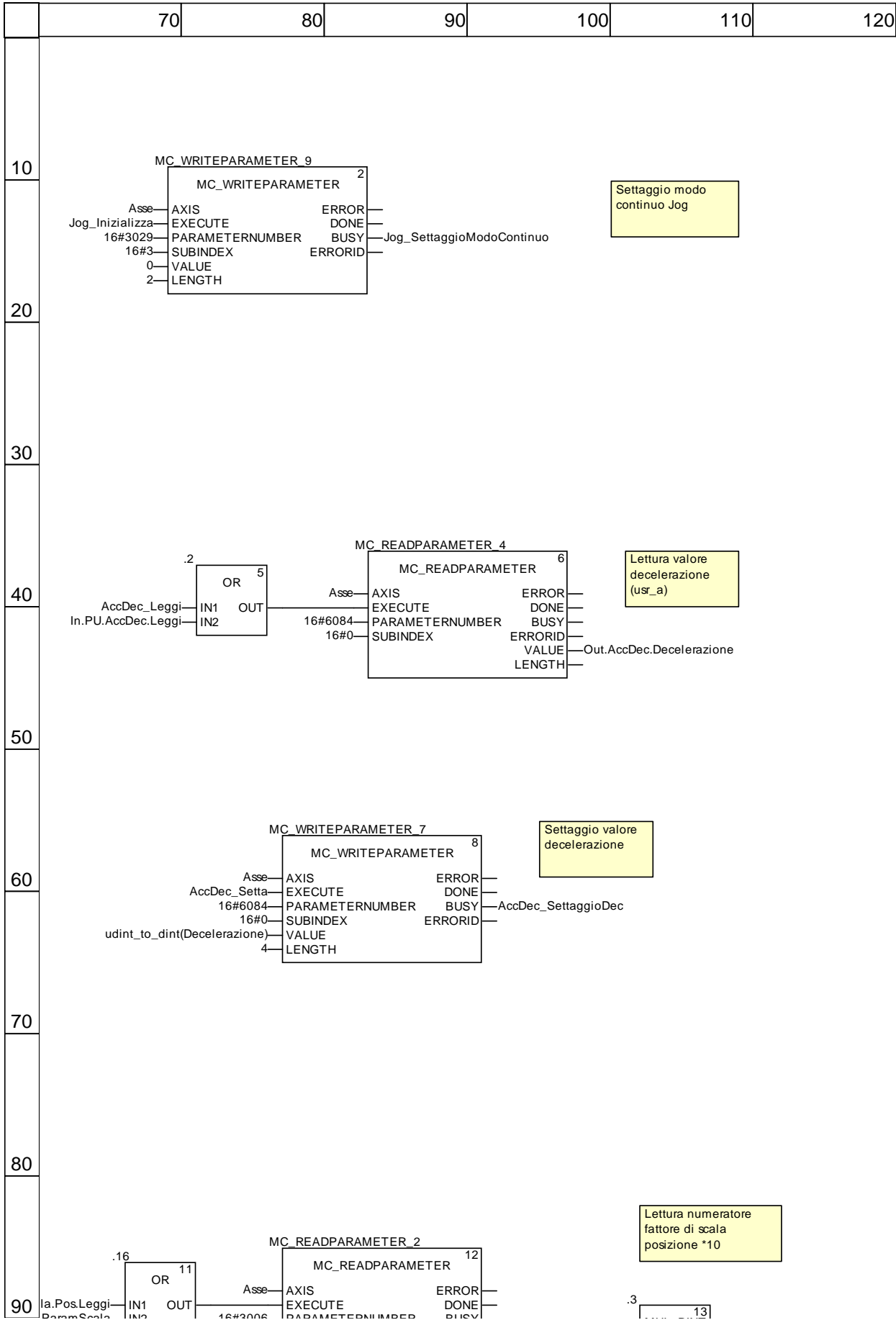
InizializzaAttivaLettura



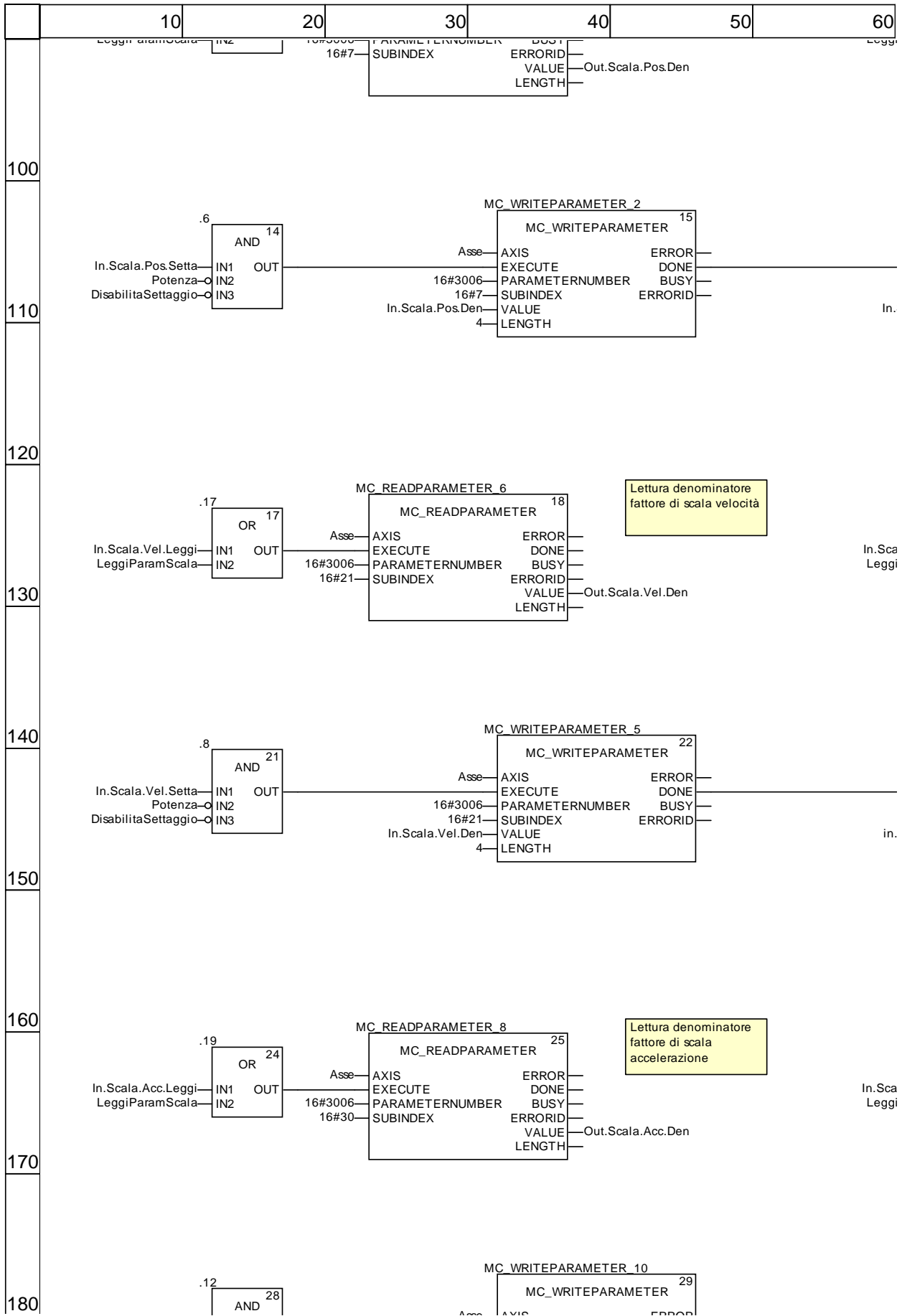
LetturaScrittura_Parametri



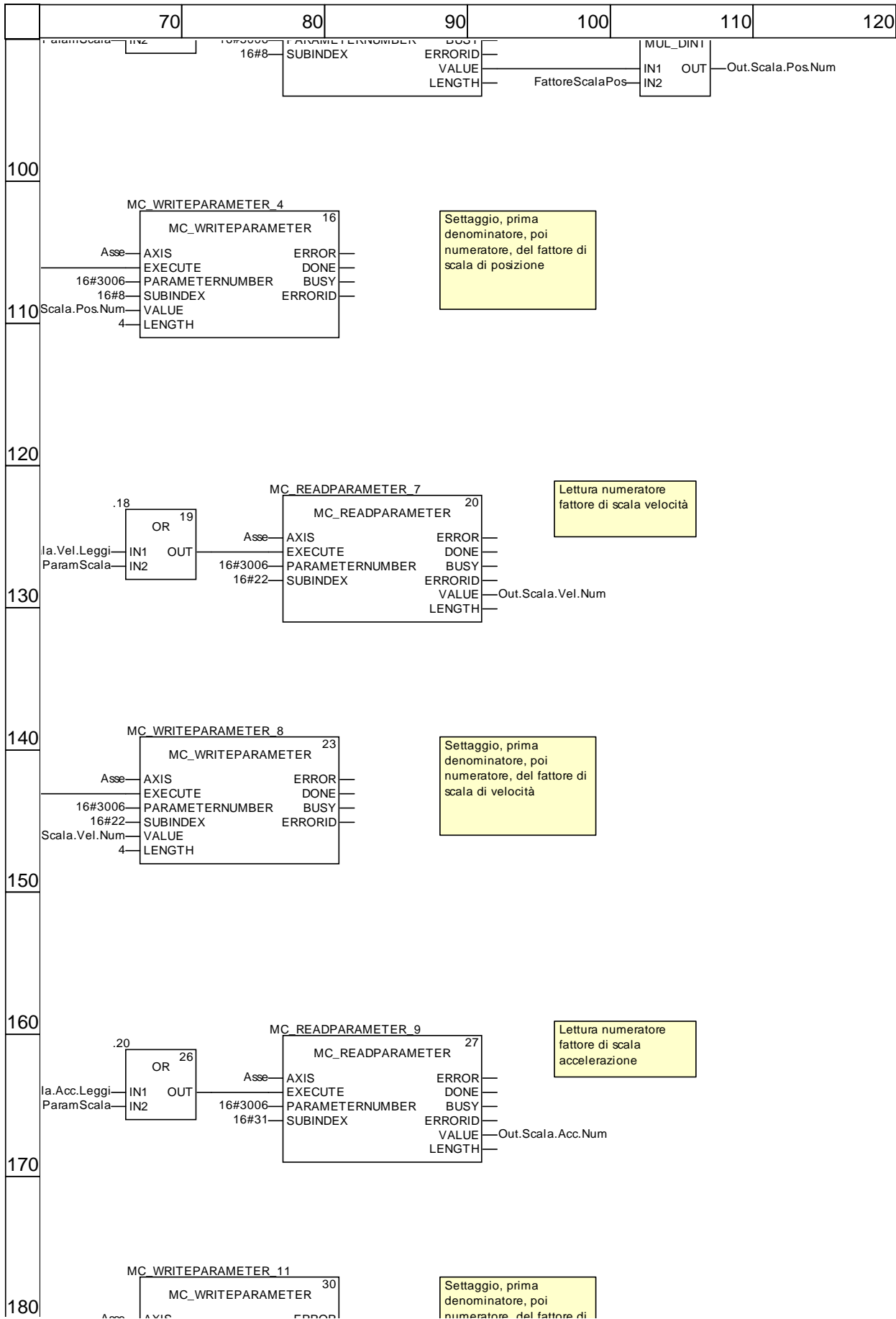
LetturaScrittura_Parametri



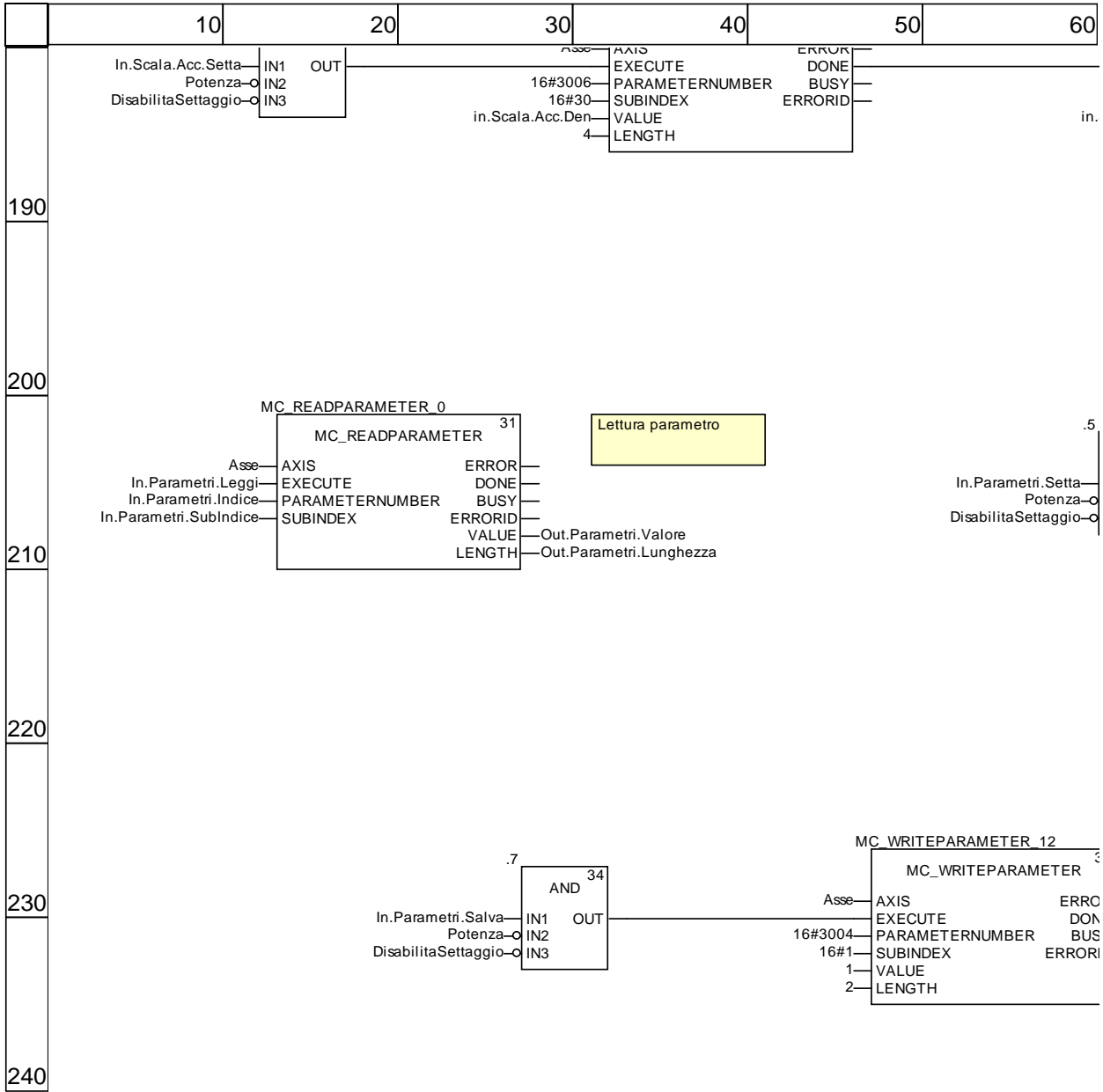
LetturaScrittura_Parametri



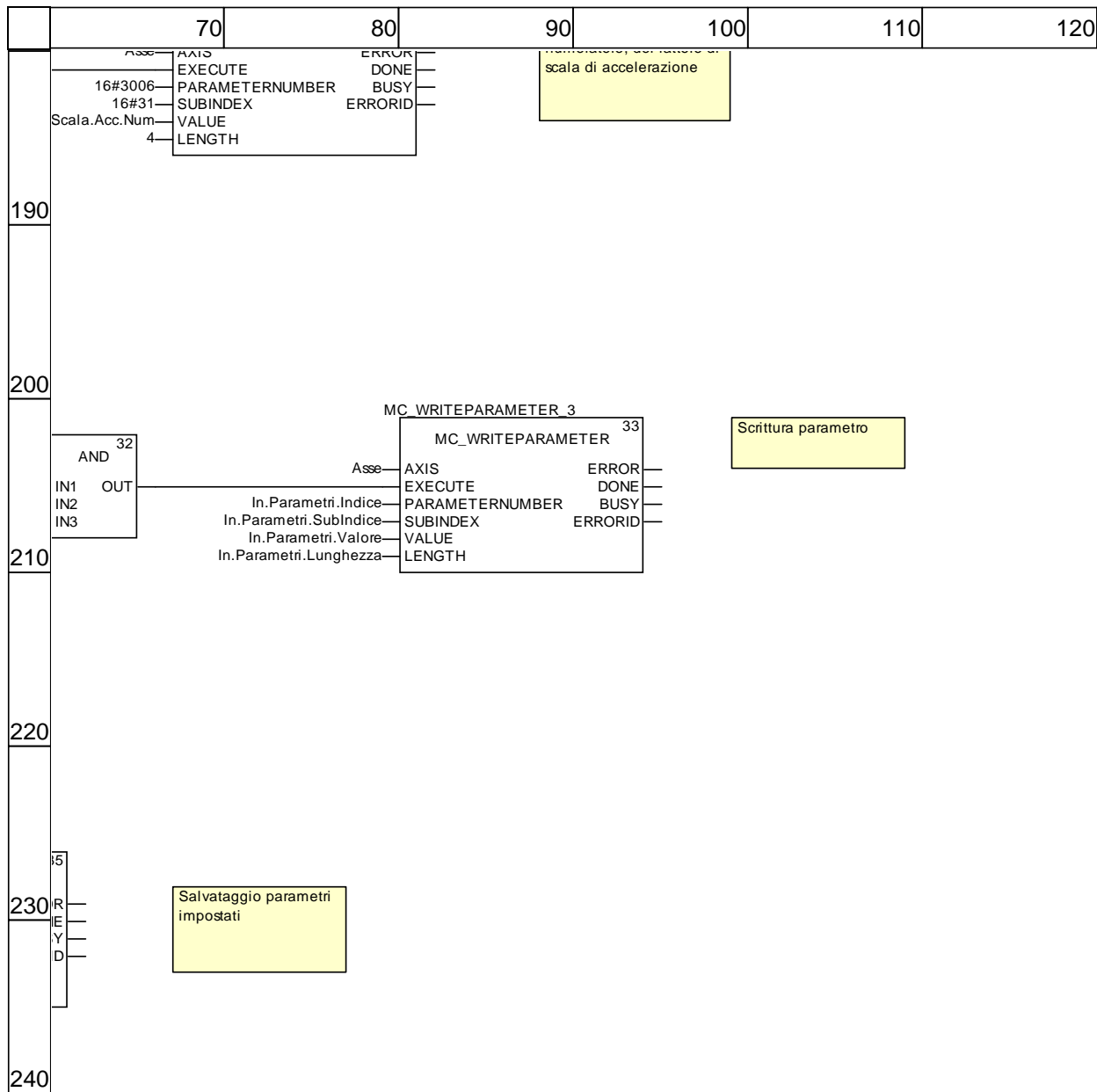
LetturaScrittura_Parametri



LetturaScrittura_Parametri



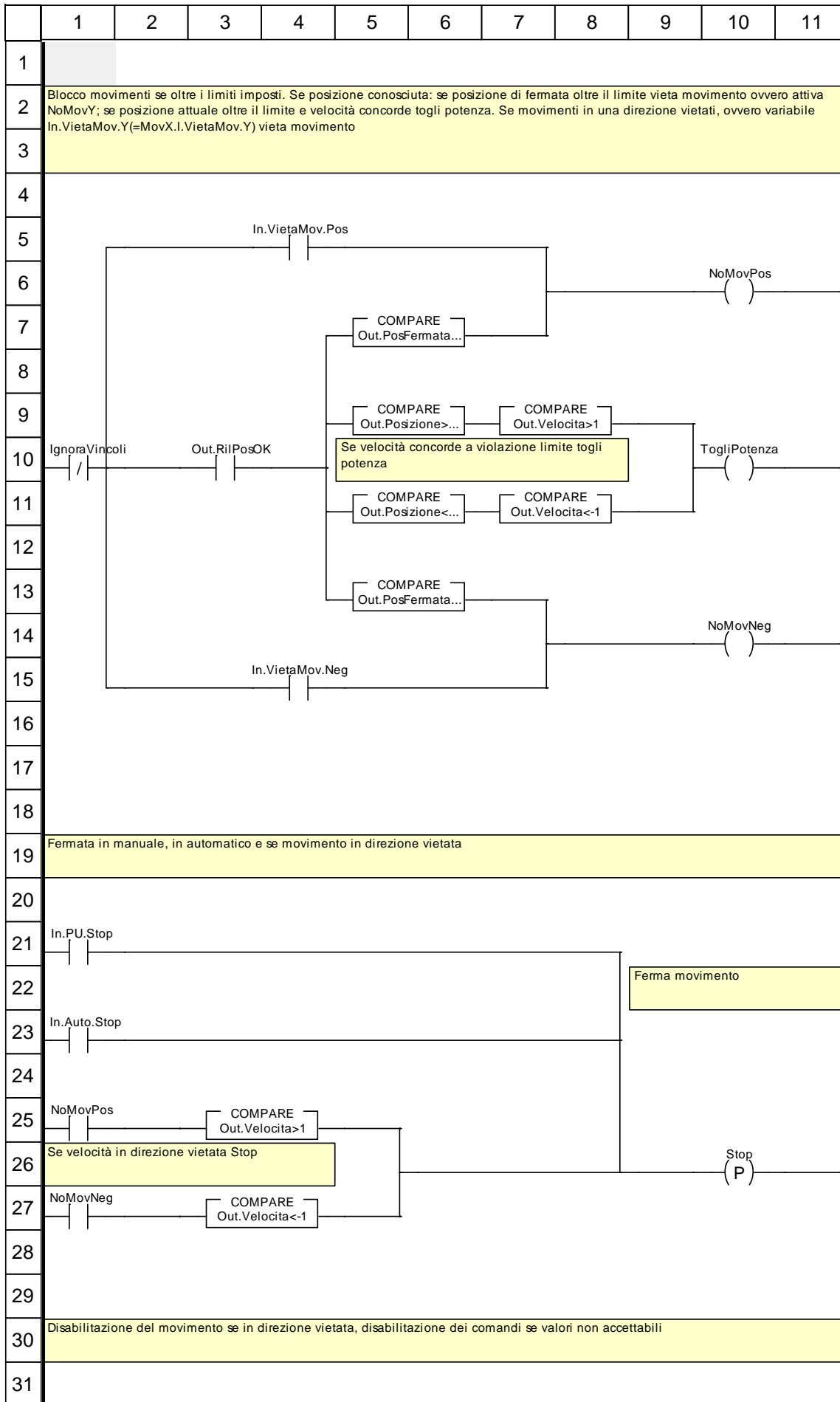
LetturaScrittura_Parametri



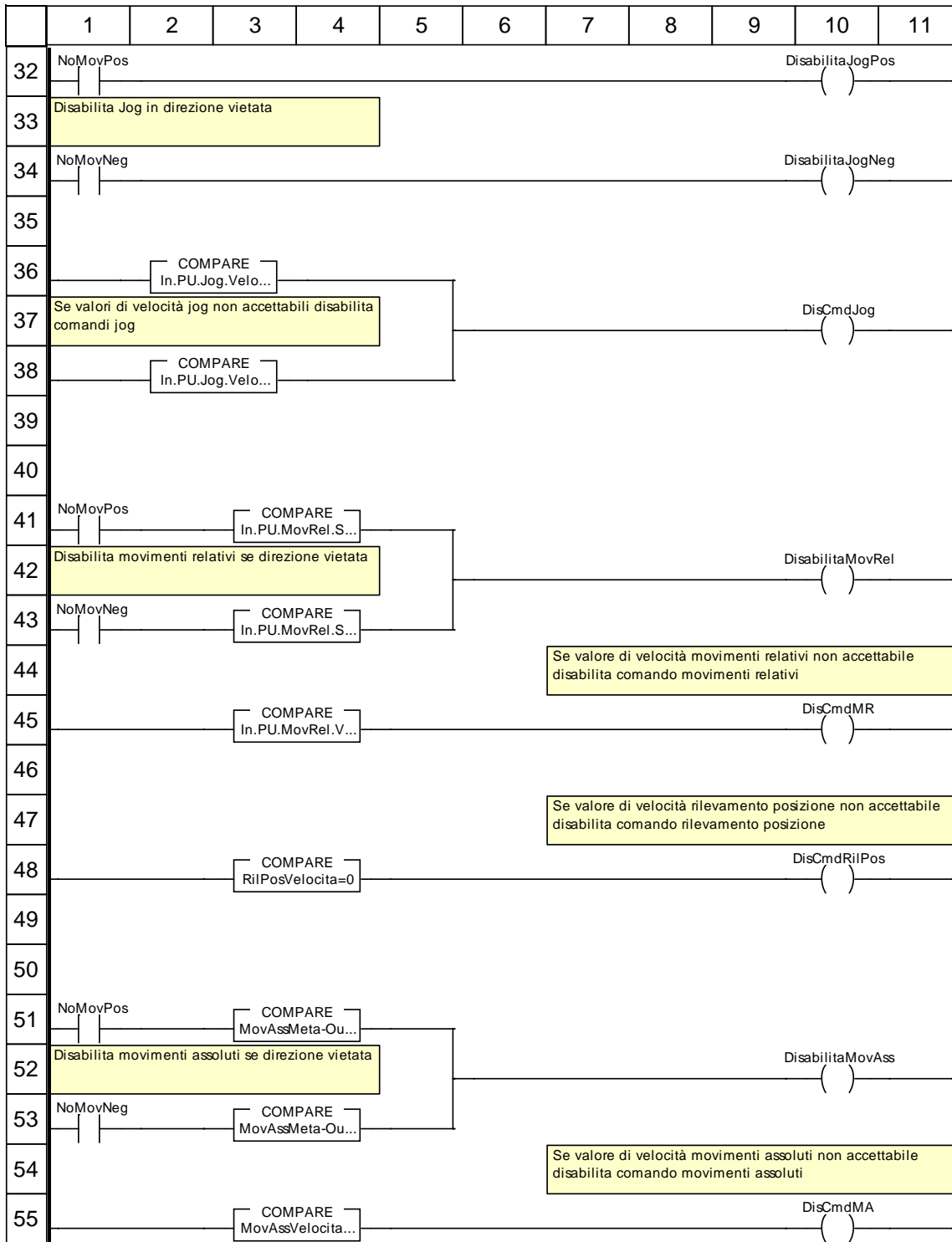
Risultati Lettura

```
1|      10|      20|      30|      40|      50|      60|      70|      80|      90|     100|     110|    115|
1
2  if Acceso and not(Out.Jog.ModoErrLet) then
3  (*Se non ci sono errori di lettura modo funzionamento Jog*)
4
5  if Out.Jog.Modo=1 then    (*Identifica modo Jog*)
6      Out.Jog.ModoStep:=1;
7      Out.Jog.ModoContinuo:=0;
8  else
9      Out.Jog.ModoStep:=0;
10     Out.Jog.ModoContinuo:=1;
11 end_if;
12
13 else
14 (*Se c'è errore lettura modo non identificato*)
15
16     Out.Jog.ModoStep:=0;
17     Out.Jog.ModoContinuo:=0;
18
19 end_if;
20
21
22
23
24
25 (*Calcolo valore coppia da valore corrente iq*)
26 Out.Coppia:=int_to_real(Out.Corrente)/100.0*In.kt;
27
28
29
30
31 if Out.AccDec.Decelerazione*Out.Scala.Pos.Num*Out.Scala.Pos.Den*Out.Scala.Vel.Num*Out.Scala.Vel.Den*Out.Scala.Acc.Num
31>>um*Out.Scala.Acc.Den<>0 then
32 (*Se num e den dei fattori di scala risultano tutti diversi da 0 calcola posizione fermata se stop subito*)
33
34     Conti.Velocita:=dint_to_real(Out.Scala.Vel.Num)/dint_to_real(Out.Scala.Vel.Den)*dint_to_real(Out.Velocita);
34>>
35     (*Calcolo velocità in rpm*)
36     Conti.Decelerazione:=dint_to_real(Out.Scala.Acc.Num)/dint_to_real(Out.Scala.Acc.Den)*dint_to_real(Out.AccDec.Decel
35>>erazione);
37     (*Calcolo accelerazione in rpm/s*)
38     Conti.SpazioFermata:=dint_to_real(Out.Scala.Pos.Den)/dint_to_real(Out.Scala.Pos.Num)*Conti.Velocita/60.0/2.0*abs(C
36>>onti.Velocita)/Conti.Decelerazione; (*Calcolo spazio di fermata in usr_p*)
37
38     Out.PosFermata:=Out.Posizione+real_to_dint(Conti.SpazioFermata*0.85); (*Calcolo posizione di fermata ridotta*)
39     Out.PosFermataVera:=Out.Posizione+real_to_dint(Conti.SpazioFermata); (*Calcolo posizione di fermata vera*)
40
41 else
42 (*Se num e den dei fattori di scala non risultano avere tutti valori consistenti*)
43
44     Out.PosFermata:=Out.Posizione; (*Posizione fermata ridotta=posizione attuale*)
45     Out.PosFermataVera:=Out.Posizione+real_to_dint(dint_to_real(Out.Scala.Pos.Den)/dint_to_real(Out.Scala.Pos.Num)*100
45>>0.0)*(1-2*bool_to_dint(Out.Velocita<0)-bool_to_dint(Out.Velocita=0)); (*Posizione fermata vera=posizione tra 1000 g
45>>iri motore*)
46
47 end_if;
```

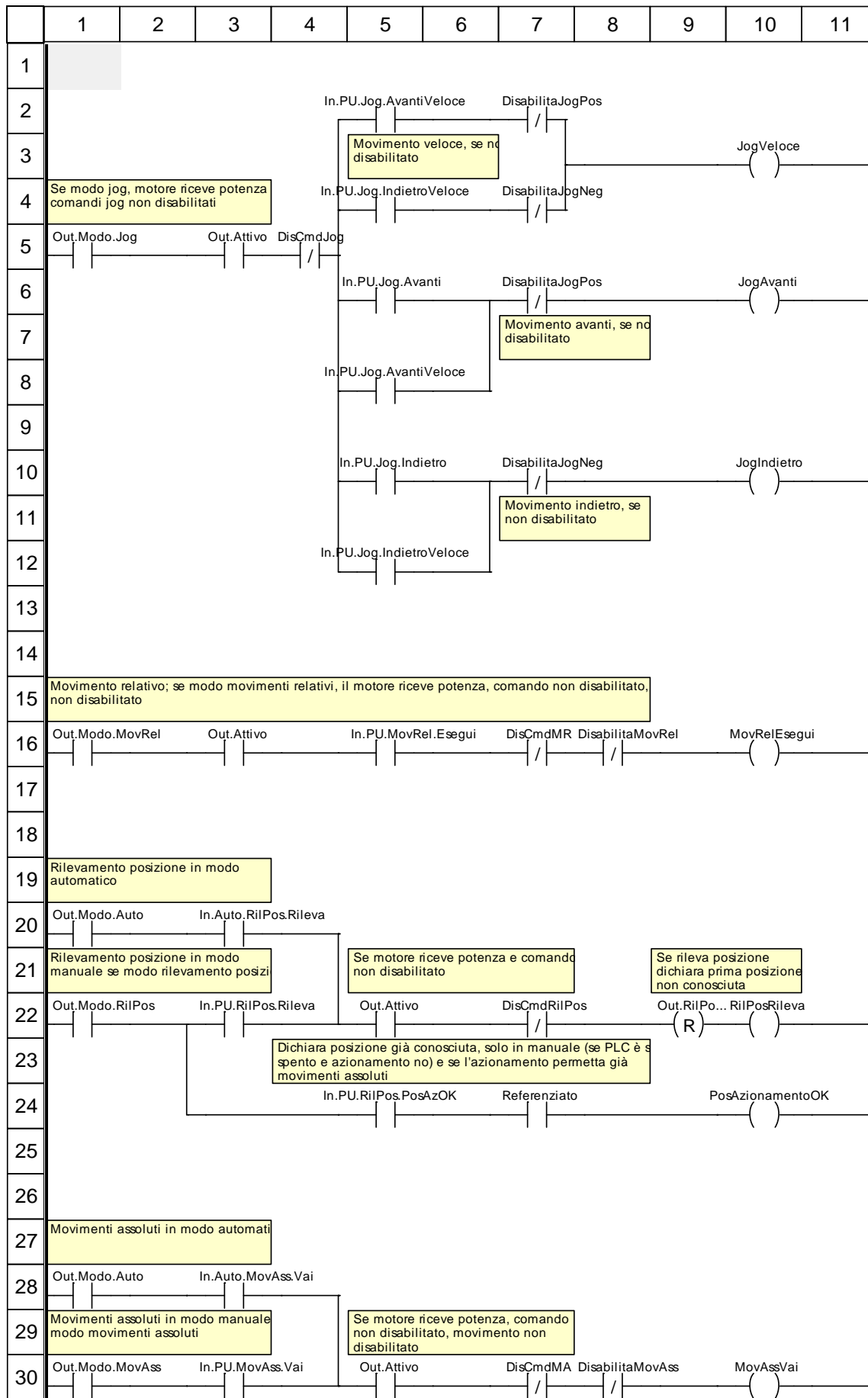
Blocco_Movimentazioni



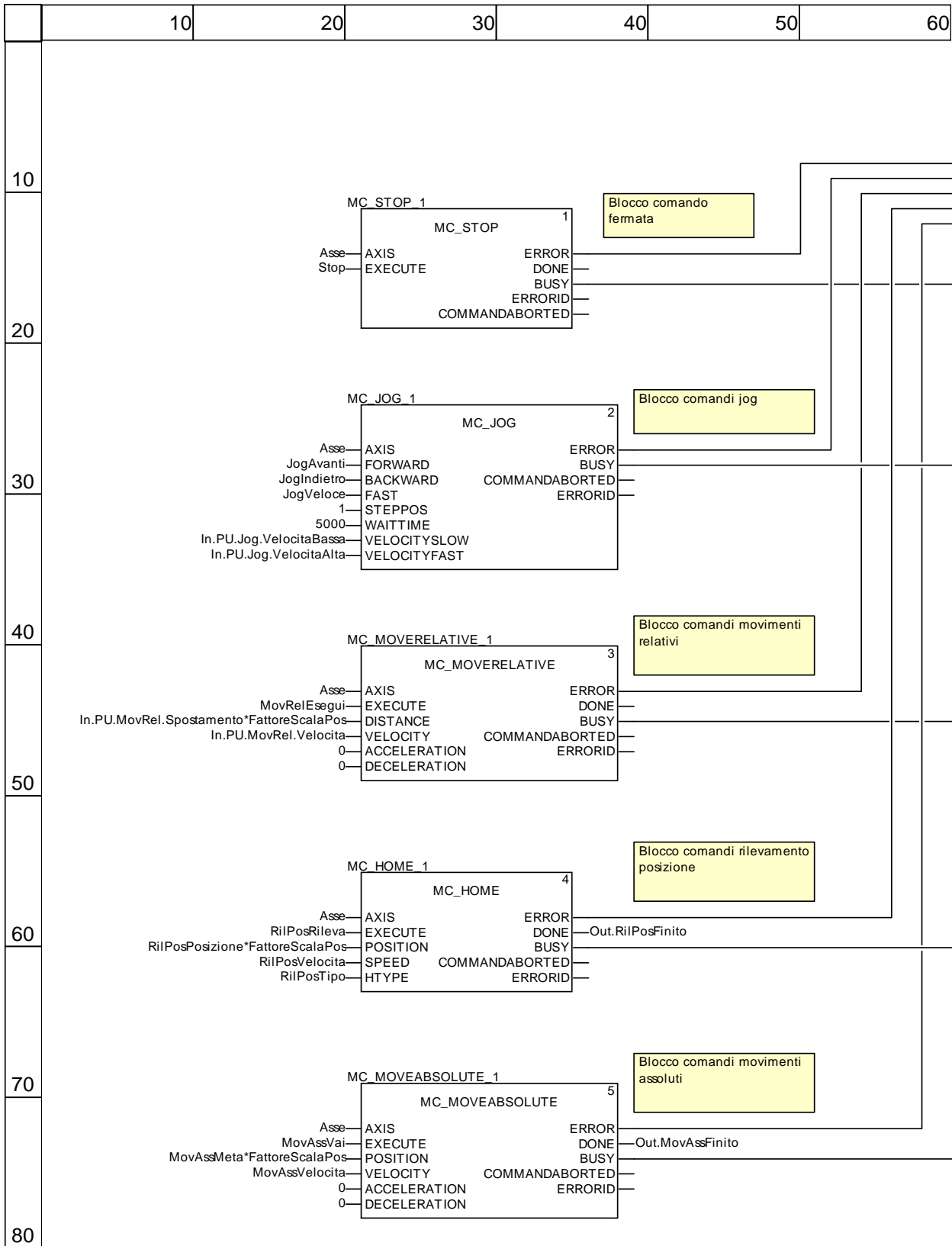
Blocco_Movimentazioni



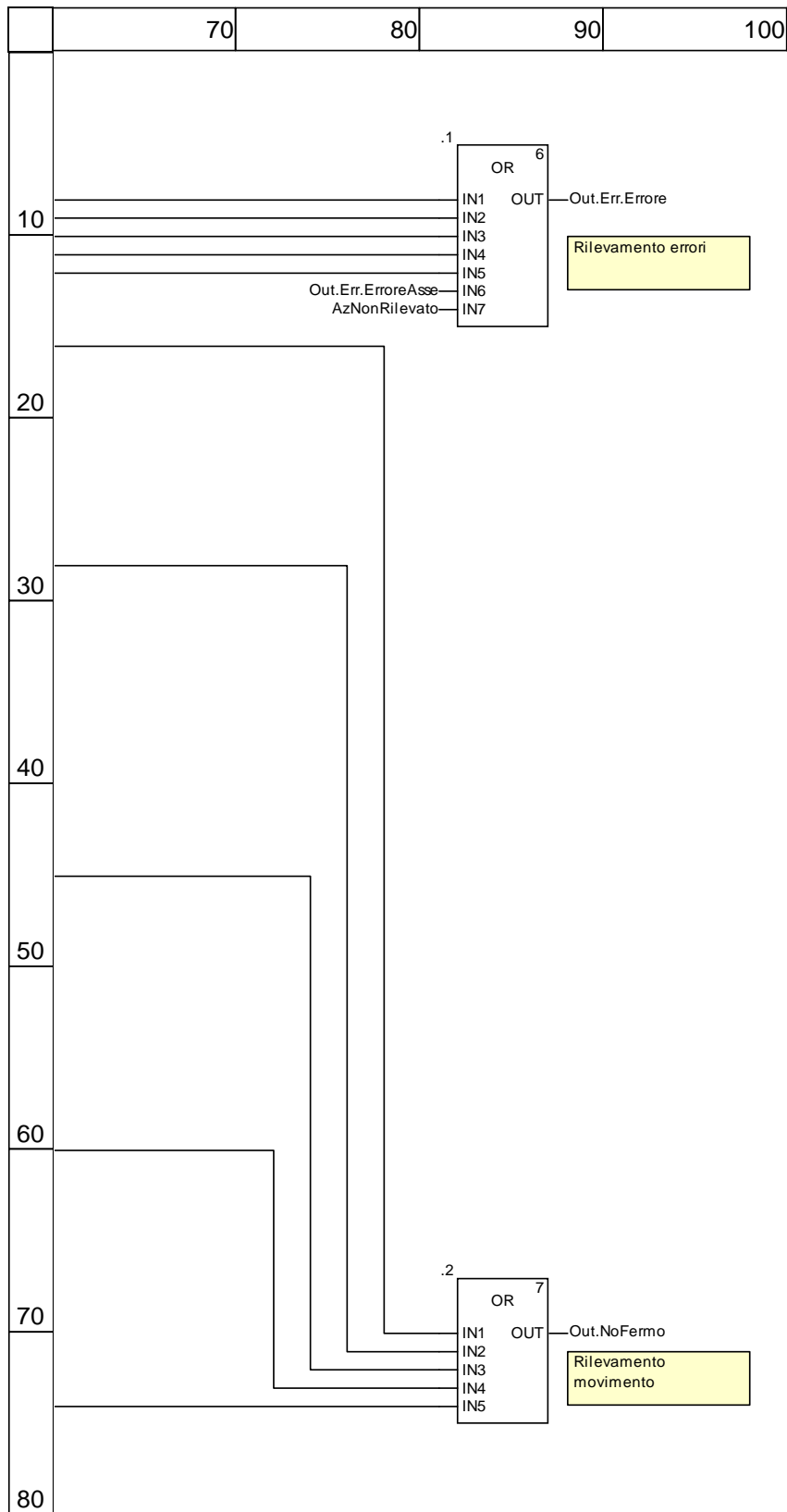
Attiva



Movimentazione



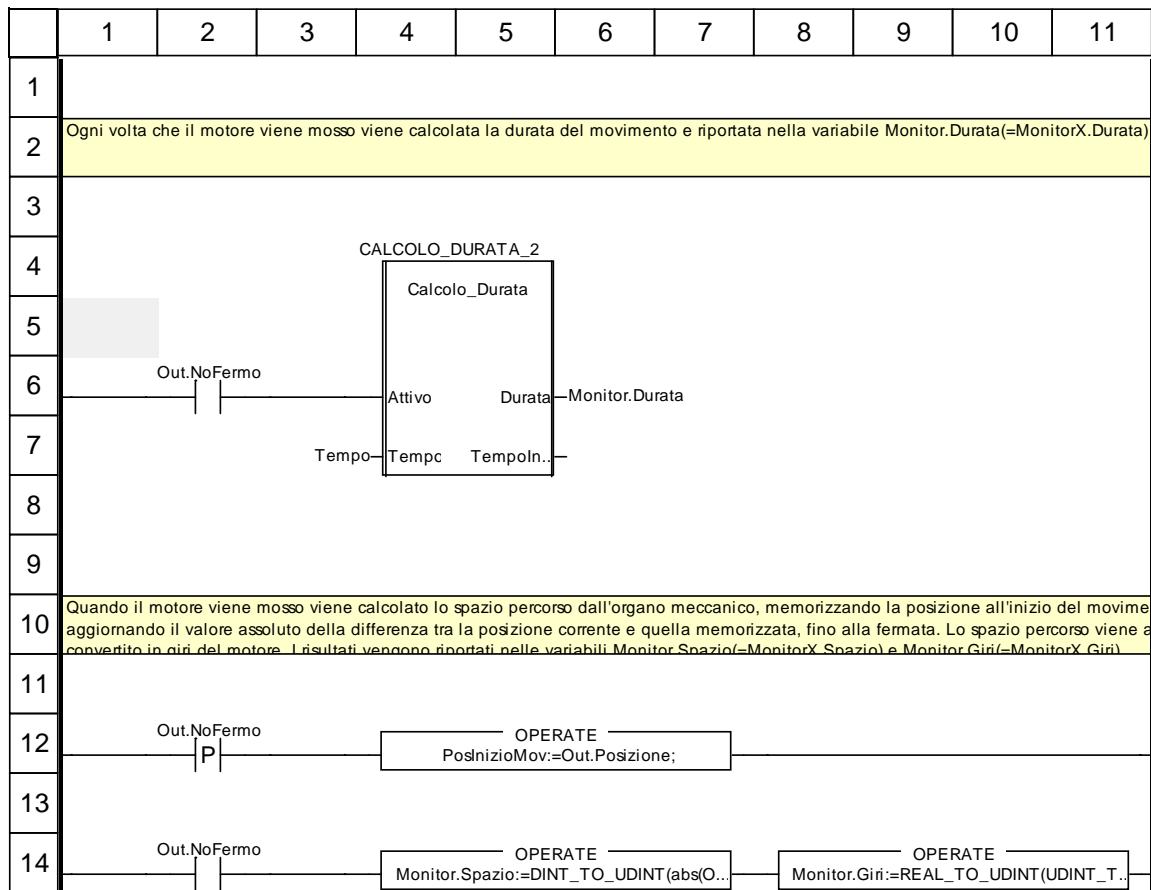
Movimentazione



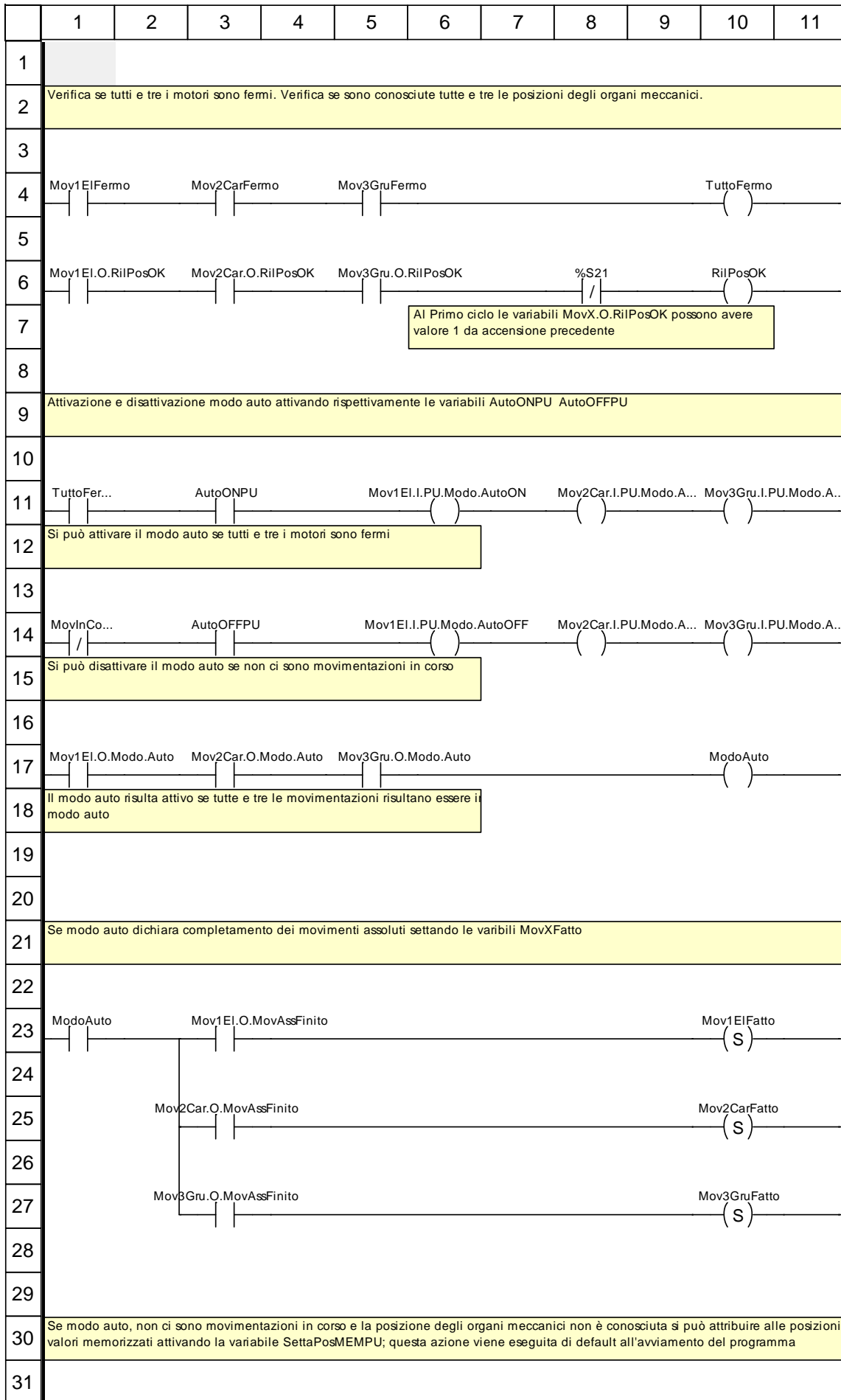
Memorizza_Posizione

```
1|          10|          20|          30|          40|          50|          60|          70|          80|          90|         100|         110| 115|
1
2  if Out.RilPosOK then                                (*Se posizione conosciuta memorizzata nella *)
3    Out.PosizioneMEM:=Out.Posizione;                  (*variabile Out.PosizioneMEM(=MovX.O.PosizioneMEM) *)
4  end_if;
5
6
7  if Out.RilPosFinito or PosAzionamentoOK then      (*Dichiara se posizione rilevata o *)
8    Out.RilPosOK:=1;                                  (*già conosciuta *)
9  end_if;
```

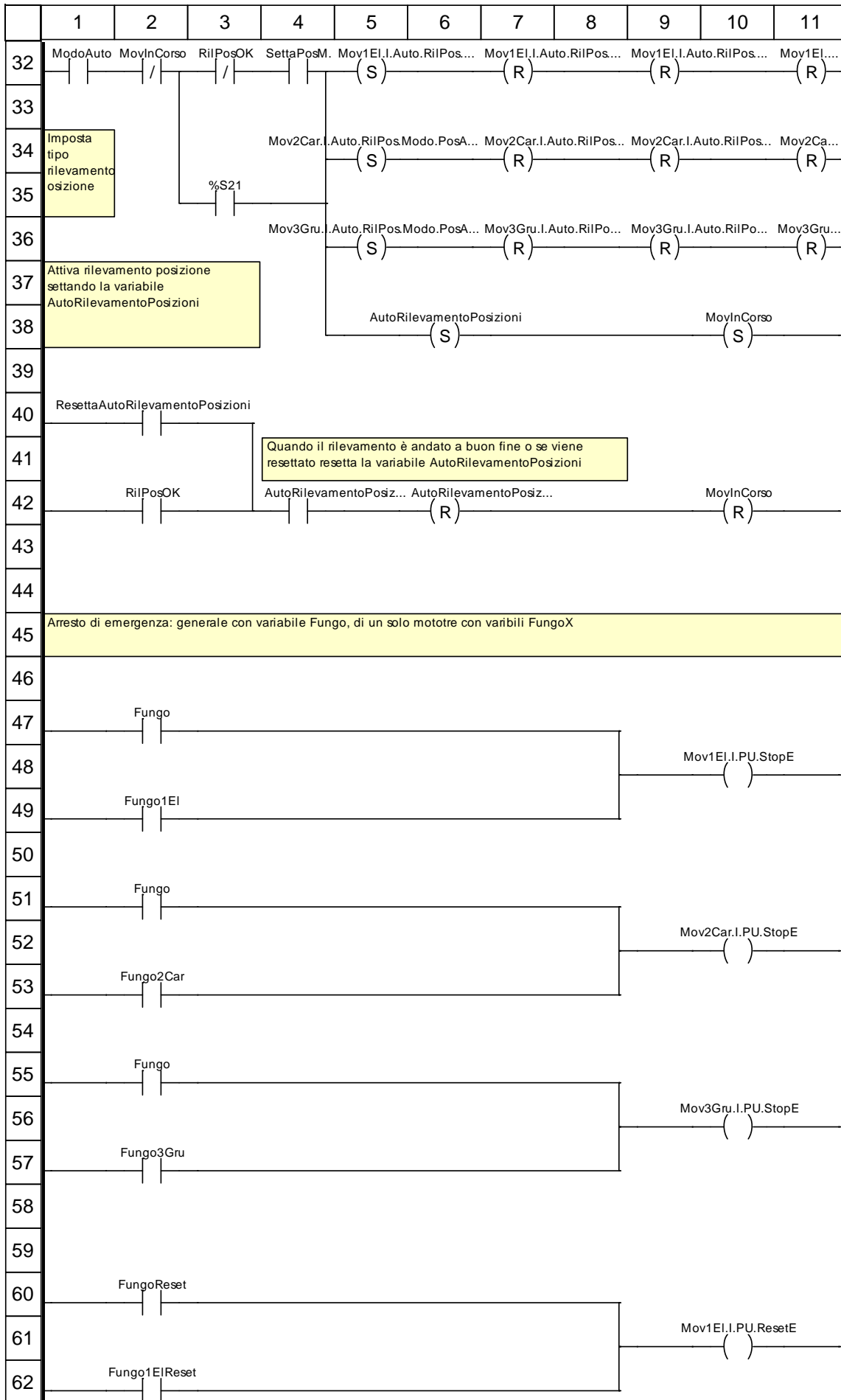
Monitoraggio



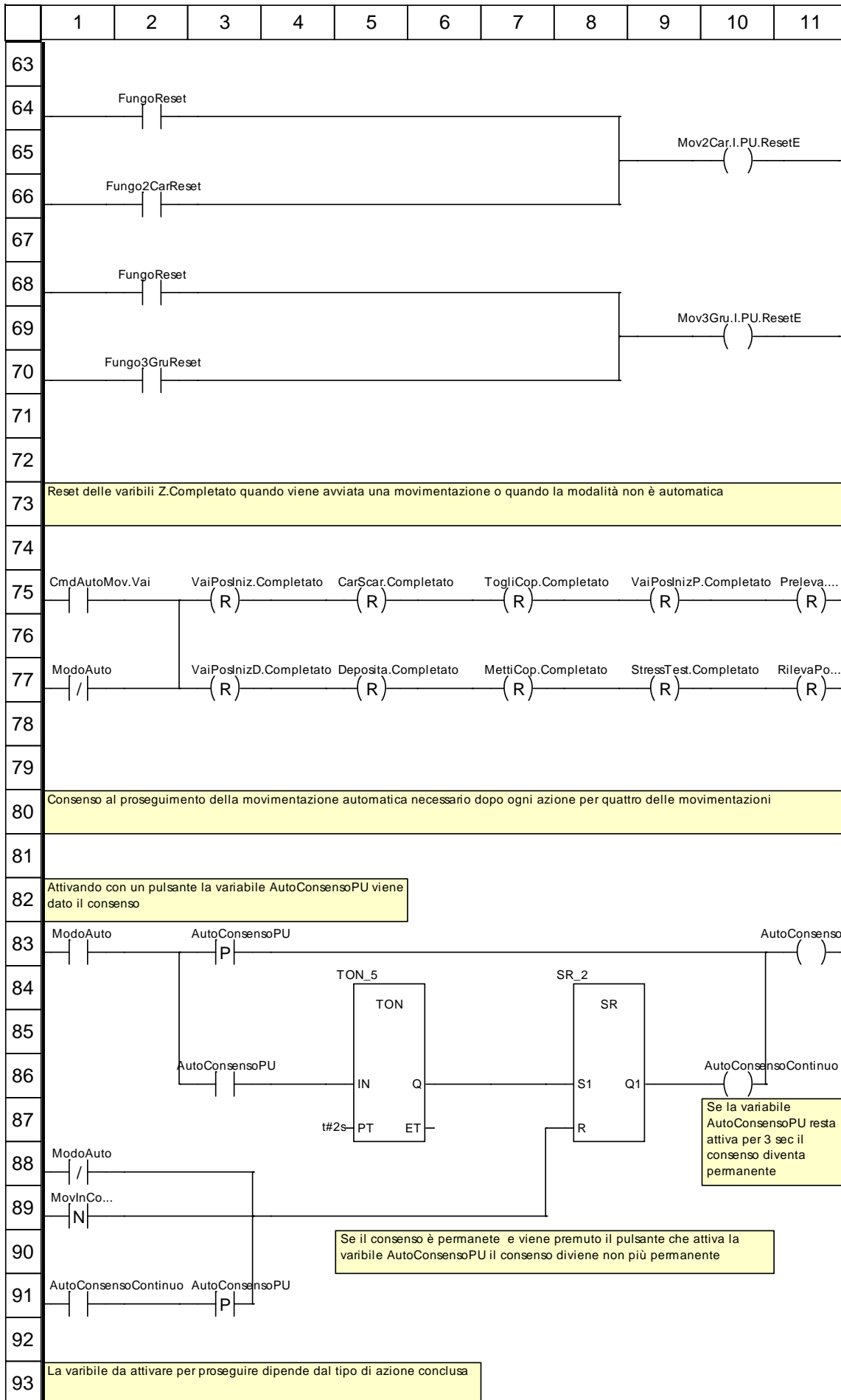
Controllo_Globale



Controllo_Globale



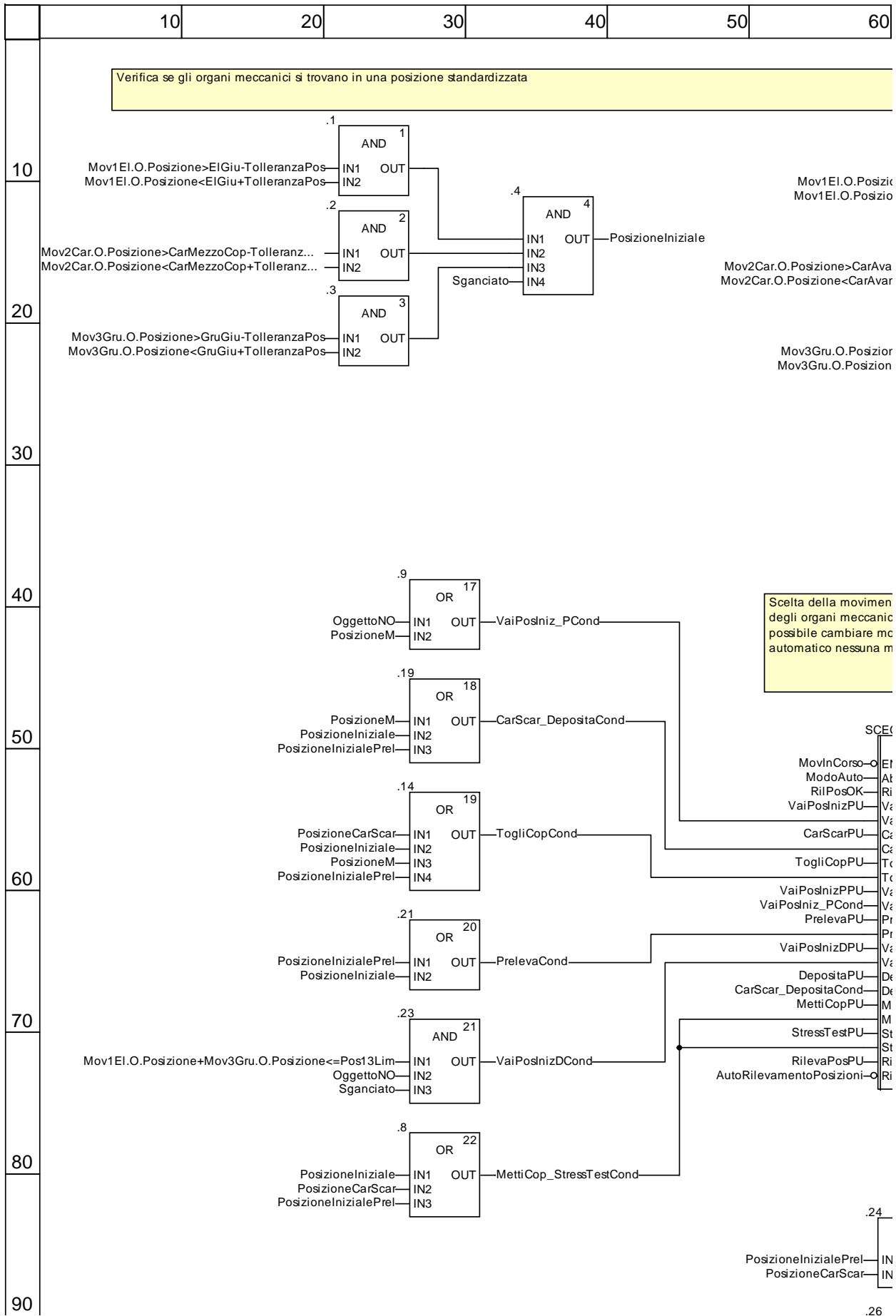
Controllo_Globale



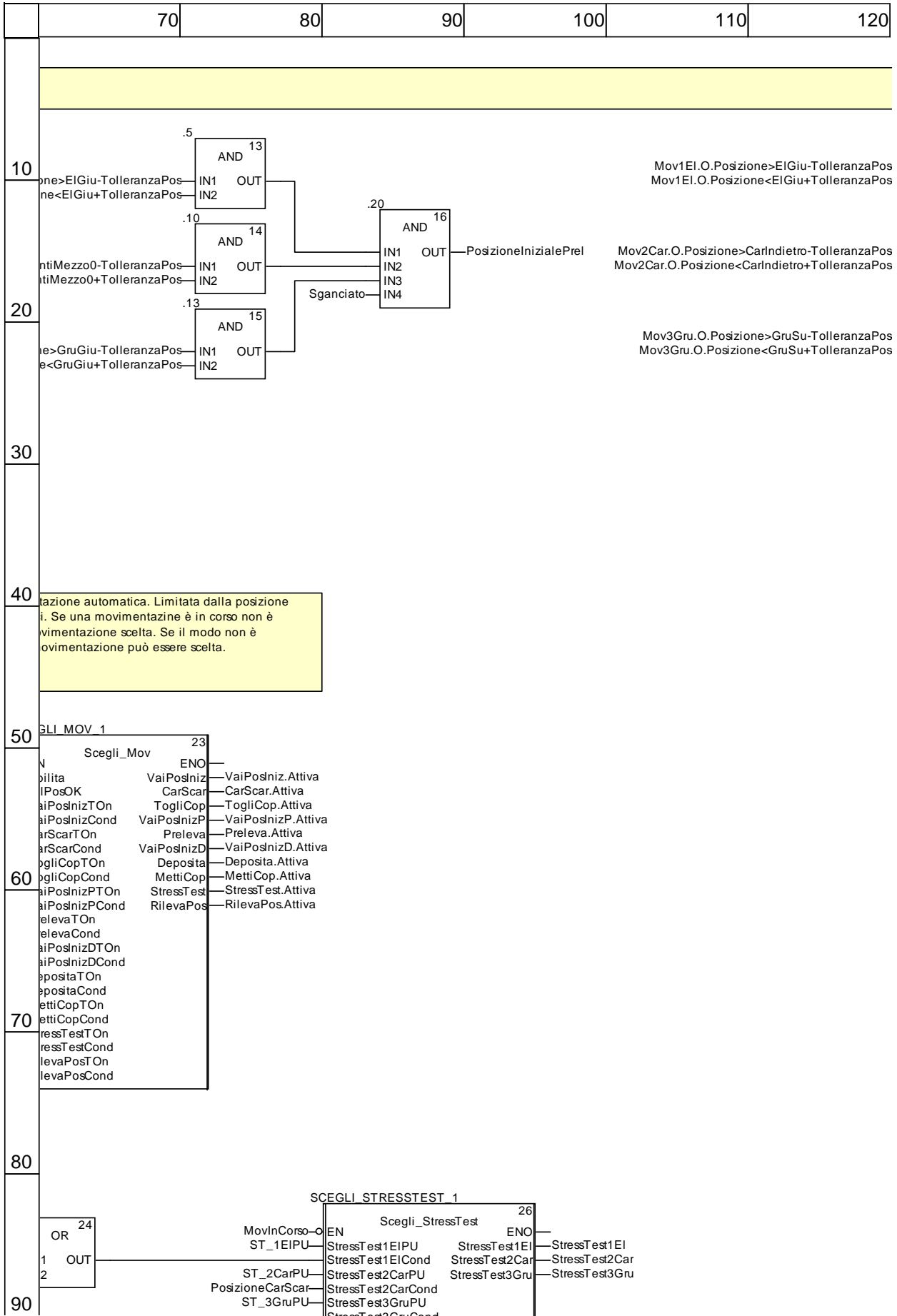
Controllo_Globale



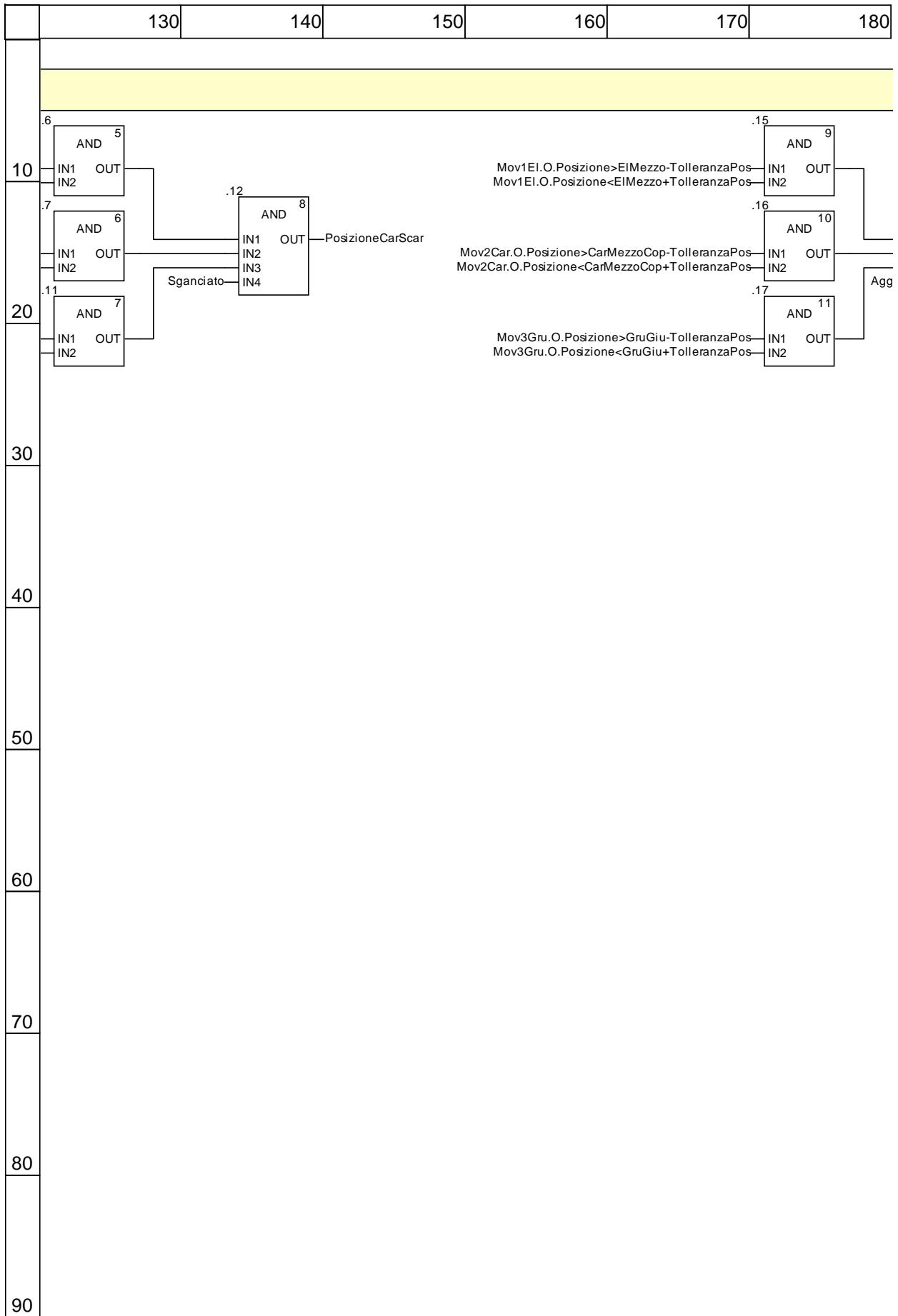
Attiva_Movimentazione



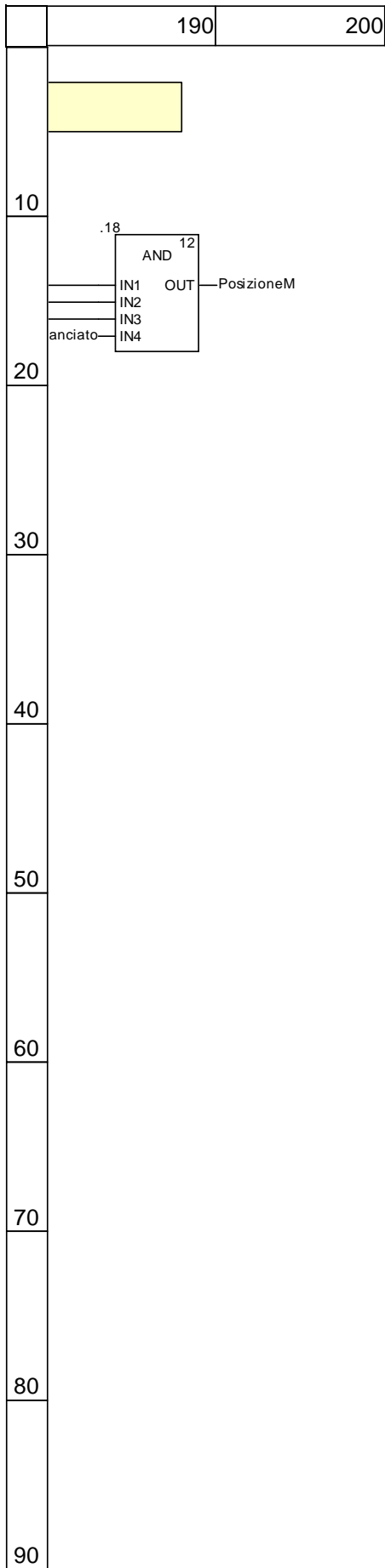
Attiva_Movimentazione



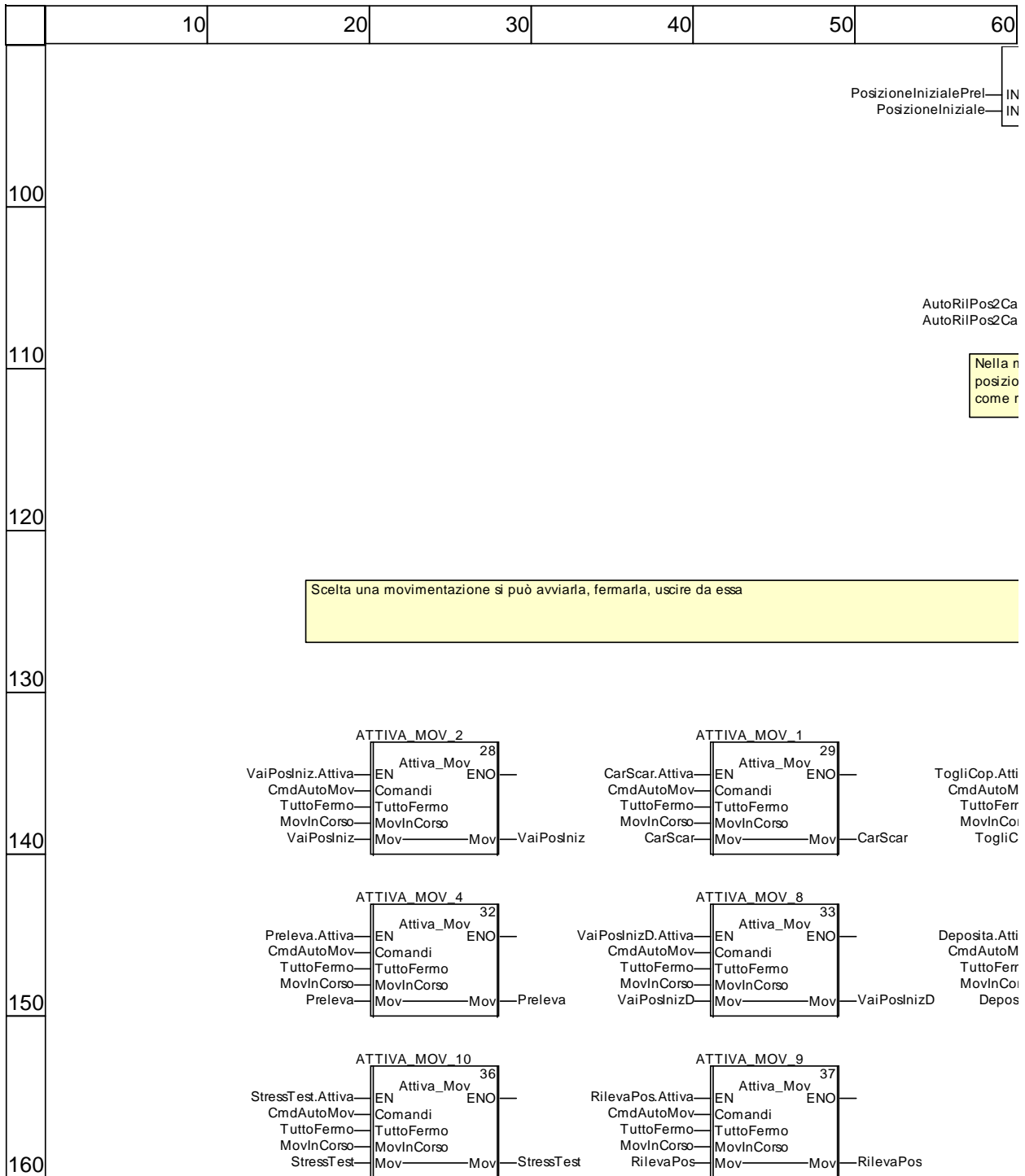
Attiva_Movimentazione



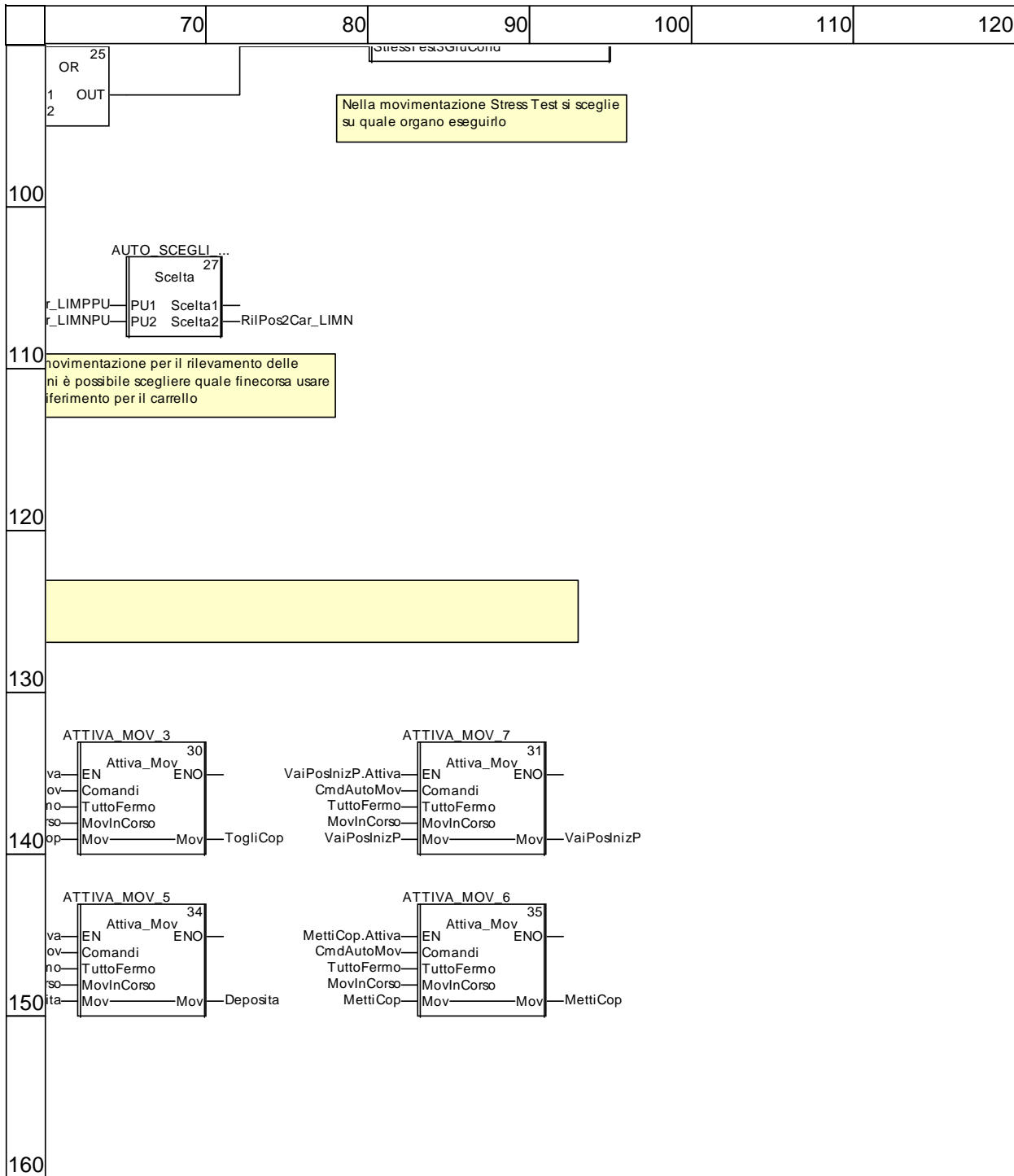
Attiva_Movimentazione



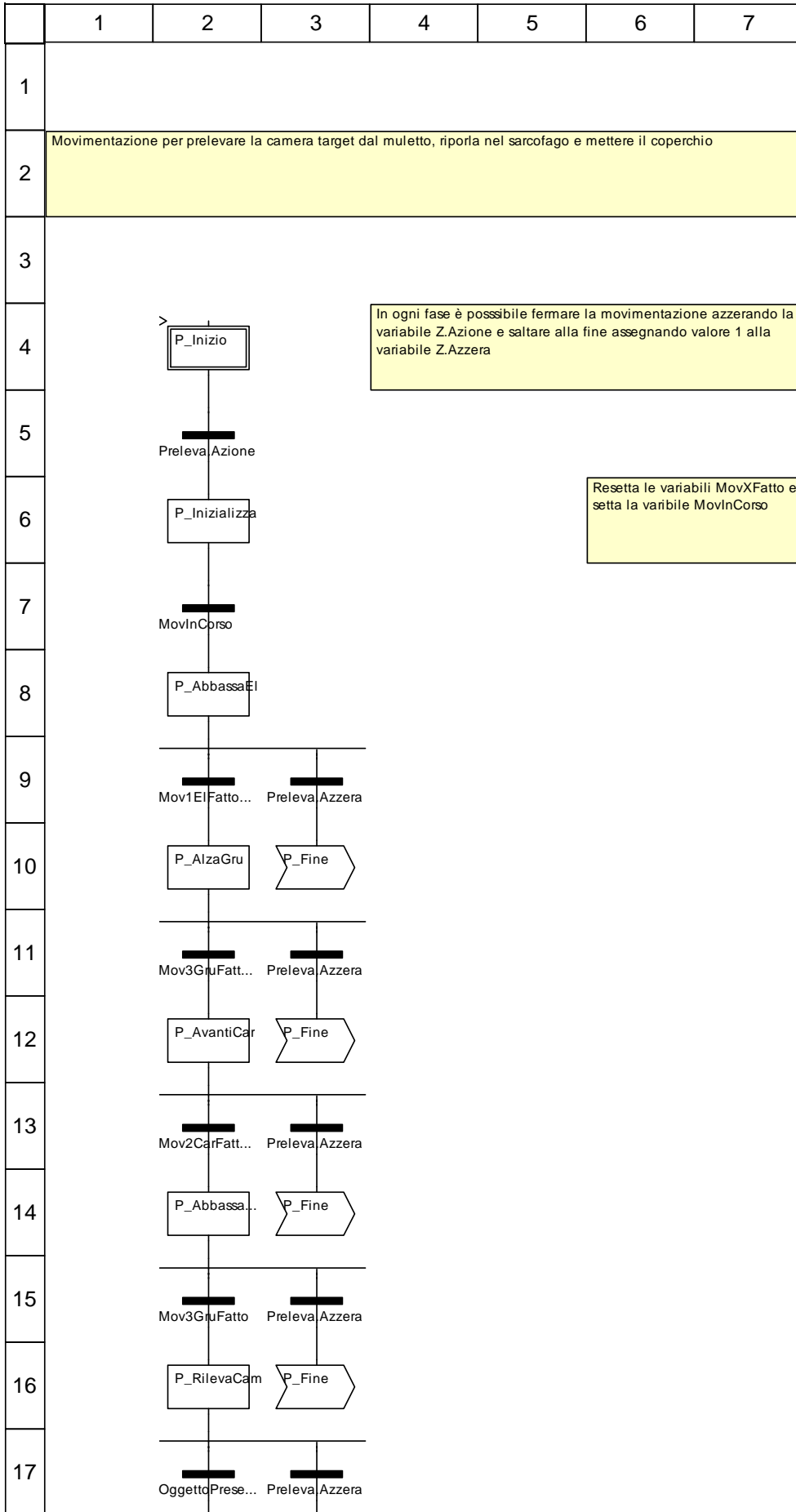
Attiva_Movimentazione



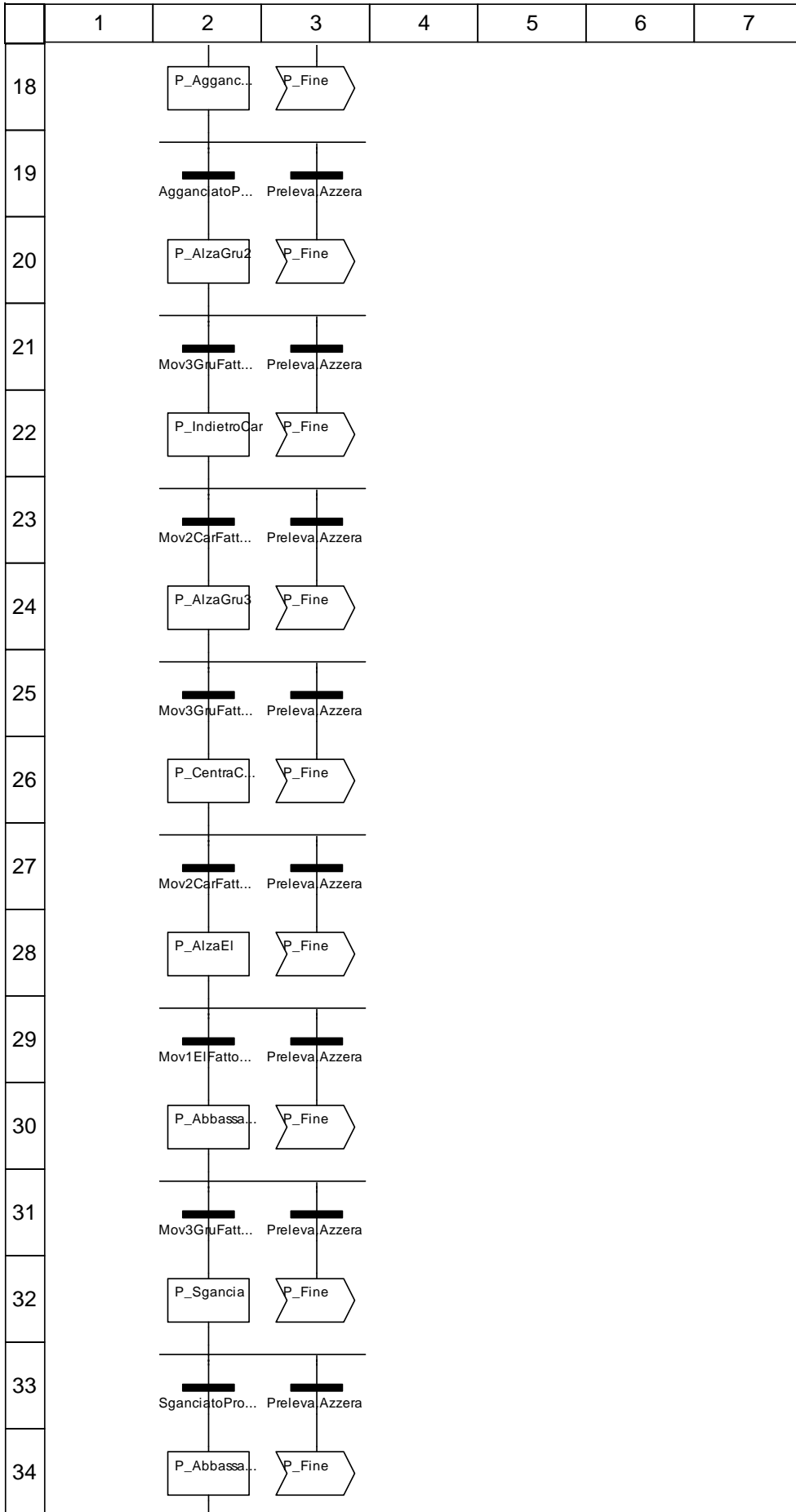
Attiva_Movimentazione



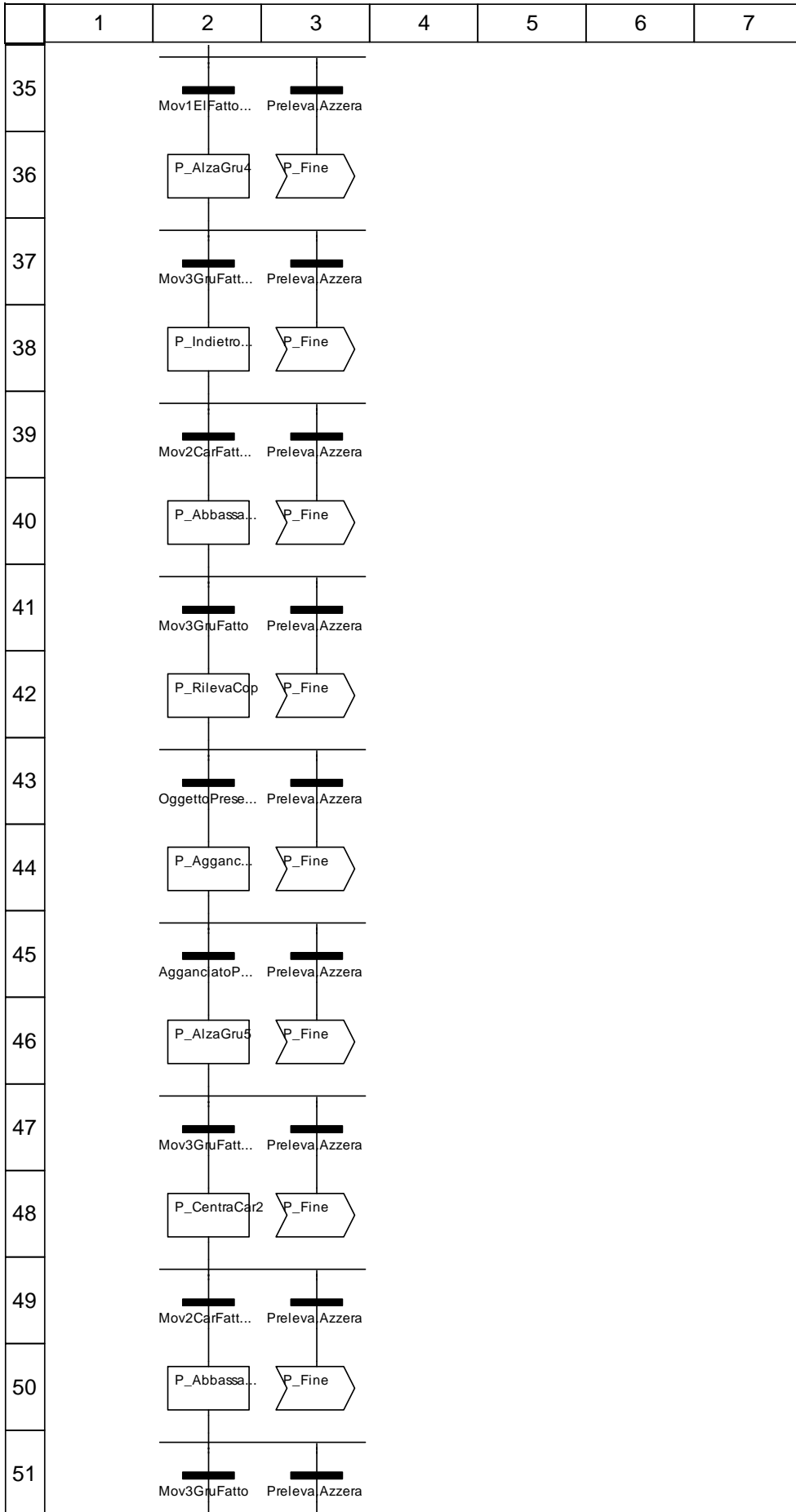
Prelievo_Camera



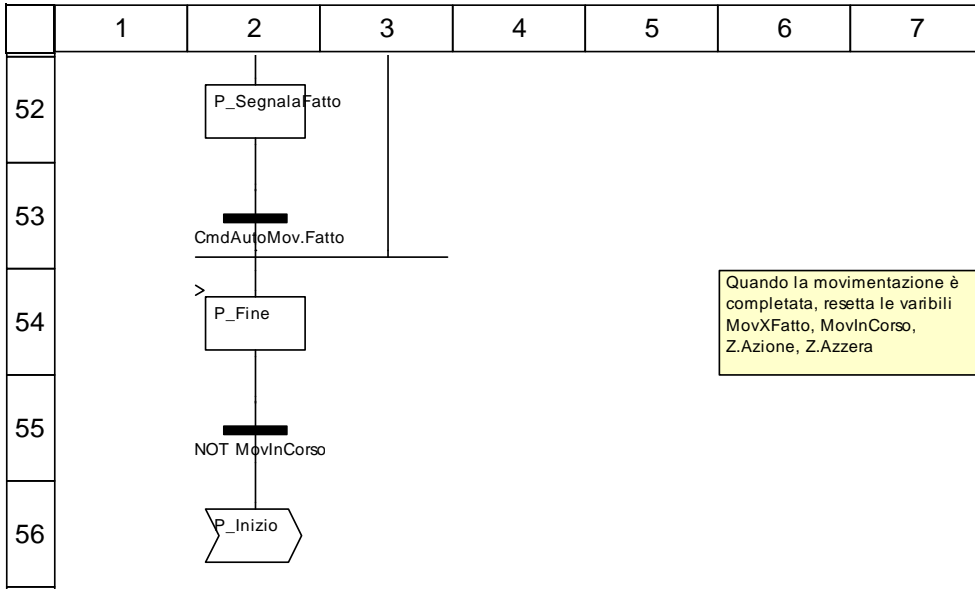
Prelievo_Camera



Prelievo_Camera



Prelievo_Camera



Quando la movimentazione è completata, resetta le variabili MovXFatto, MovInCorso, Z.Azione, Z.Azzera

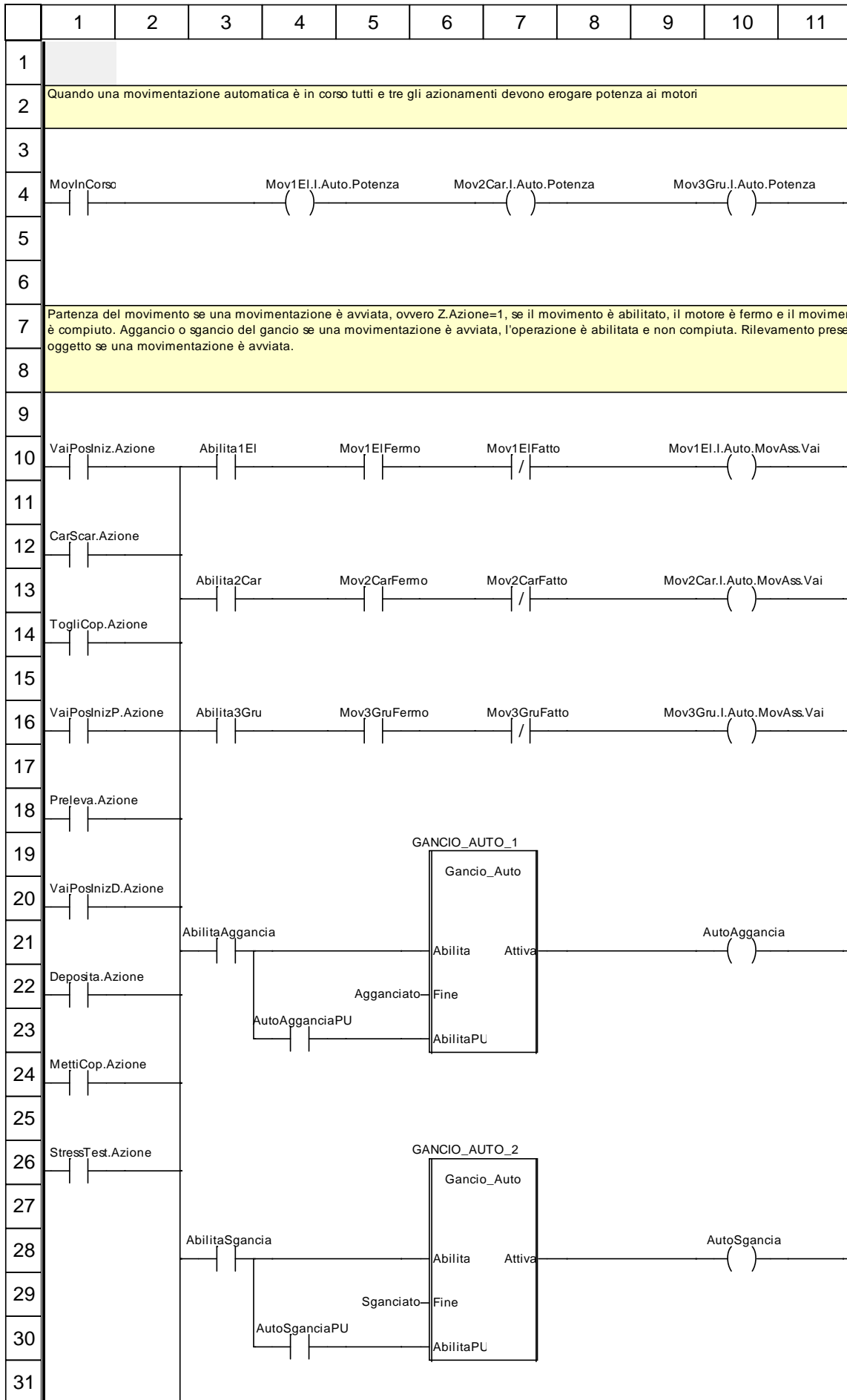
Auto_Assignamento_Posizioni

```
1|      10|      20|      30|      40|      50|      60|      70|      80|      90|     100|     110|    115|
1  (*Assegnamento delle posizioni da raggiungere e delle velocità nelle movimentazioni automatiche*)
2
3
4  (*Assegnamento parametri per movimenti elevatore*)
5
6  if AssegnaPos1El_GiuV then
7    Mov1El.I.Auto.MovAss.Meta:=ElGiu;
8    Mov1El.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel1El.V;
9  end_if;
10
11 if AssegnaPos1El_MezzoC then
12   Mov1El.I.Auto.MovAss.Meta:=ElMezzo;
13   Mov1El.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel1El.C;
14 end_if;
15
16 if AssegnaPos1El_MezzoV then
17   Mov1El.I.Auto.MovAss.Meta:=ElMezzo;
18   Mov1El.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel1El.V;
19 end_if;
20
21 if AssegnaPos1El_SuC then
22   Mov1El.I.Auto.MovAss.Meta:=ElSu;
23   Mov1El.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel1El.C;
24 end_if;
25
26 if AssegnaPos1El_SuTuttoC then
27   Mov1El.I.Auto.MovAss.Meta:=ElSuTutto;
28   Mov1El.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel1El.C;
29 end_if;
30
31
32
33
34 (*Assegnamento parametri per movimenti carrello*)
35
36 if AssegnaPos2Car_IndietroC then
37   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarIndietro;
38   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.C;
39 end_if;
40
41 if AssegnaPos2Car_IndietroV then
42   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarIndietro;
43   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.V;
44 end_if;
45
46 if AssegnaPos2Car_MezzoCamC then
47   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarMezzoCam;
48   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.C;
49 end_if;
50
51 if AssegnaPos2Car_MezzoCamV then
52   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarMezzoCam;
53   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.V;
54 end_if;
55
56 if AssegnaPos2Car_MezzoCopC then
57   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarMezzoCop;
58   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.C;
59 end_if;
60
61 if AssegnaPos2Car_MezzoCopV then
62   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarMezzoCop;
63   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.V;
64 end_if;
65
66 if AssegnaPos2Car_AvantiMezzo0V then
67   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarAvantiMezzo0;
68   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.V;
69 end_if;
70
71 if AssegnaPos2Car_AvantiMezzoCamC then
72   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarAvantiMezzoCam;
73   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.C;
74 end_if;
75
76 if AssegnaPos2Car_AvantiC then
77   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarAvanti;
78   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.C;
79 end_if;
80
81 if AssegnaPos2Car_AvantiV then
82   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Meta:=CarAvanti;
83   Mov2Car.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel2Car.V;
84 end_if;
85
86
87
88
89 (*Assegnamento parametri per movimenti gru*)
90
91 if AssegnaPos3Gru_SuC then
92   Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruSu;
93   Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.C;
94 end_if;
95
96 if AssegnaPos3Gru_SuV then
```

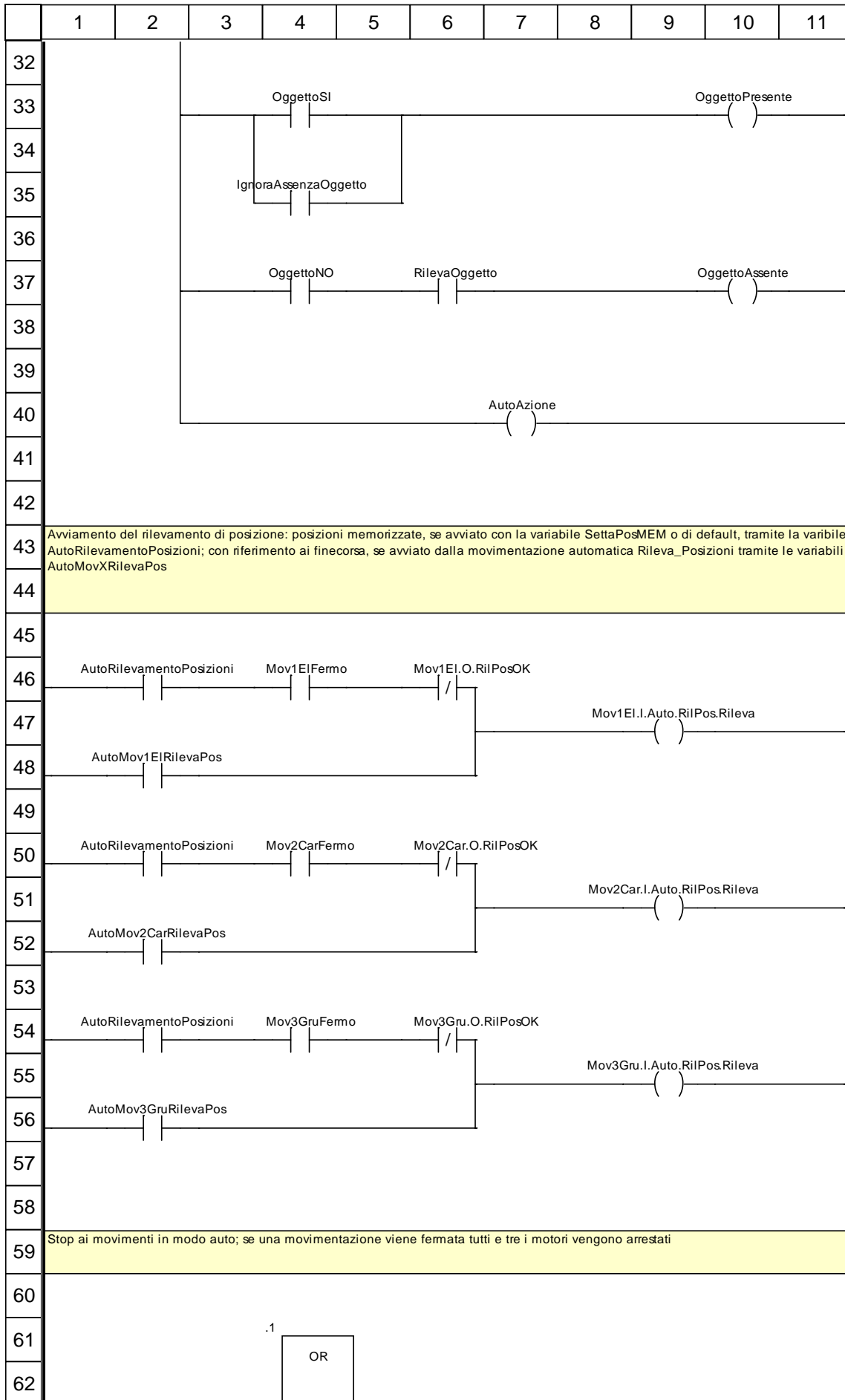
Auto_Assignamento_Posizioni

```
1|      10|      20|      30|      40|      50|      60|      70|      80|      90|      100|      110| 115|
97  Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruSu;
98  Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.V;
99  end_if;
100
101  if AssegnaPos3Gru_SuCamC then
102    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruSuCam;
103    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.C;
104  end_if;
105
106  if AssegnaPos3Gru_SuCamV then
107    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruSuCam;
108    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.V;
109  end_if;
110
111  if AssegnaPos3Gru_CamMulV then
112    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruCamMul;
113    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.V;
114  end_if;
115
116  if AssegnaPos3Gru_CopAppV then
117    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruCopApp;
118    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.V;
119  end_if;
120
121  if AssegnaPos3Gru_GiuV then
122    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Meta:=GruGiu;
123    Mov3Gru.I.Auto.MovAss.Velocita:=Vel3Gru.V;
124  end_if;
```

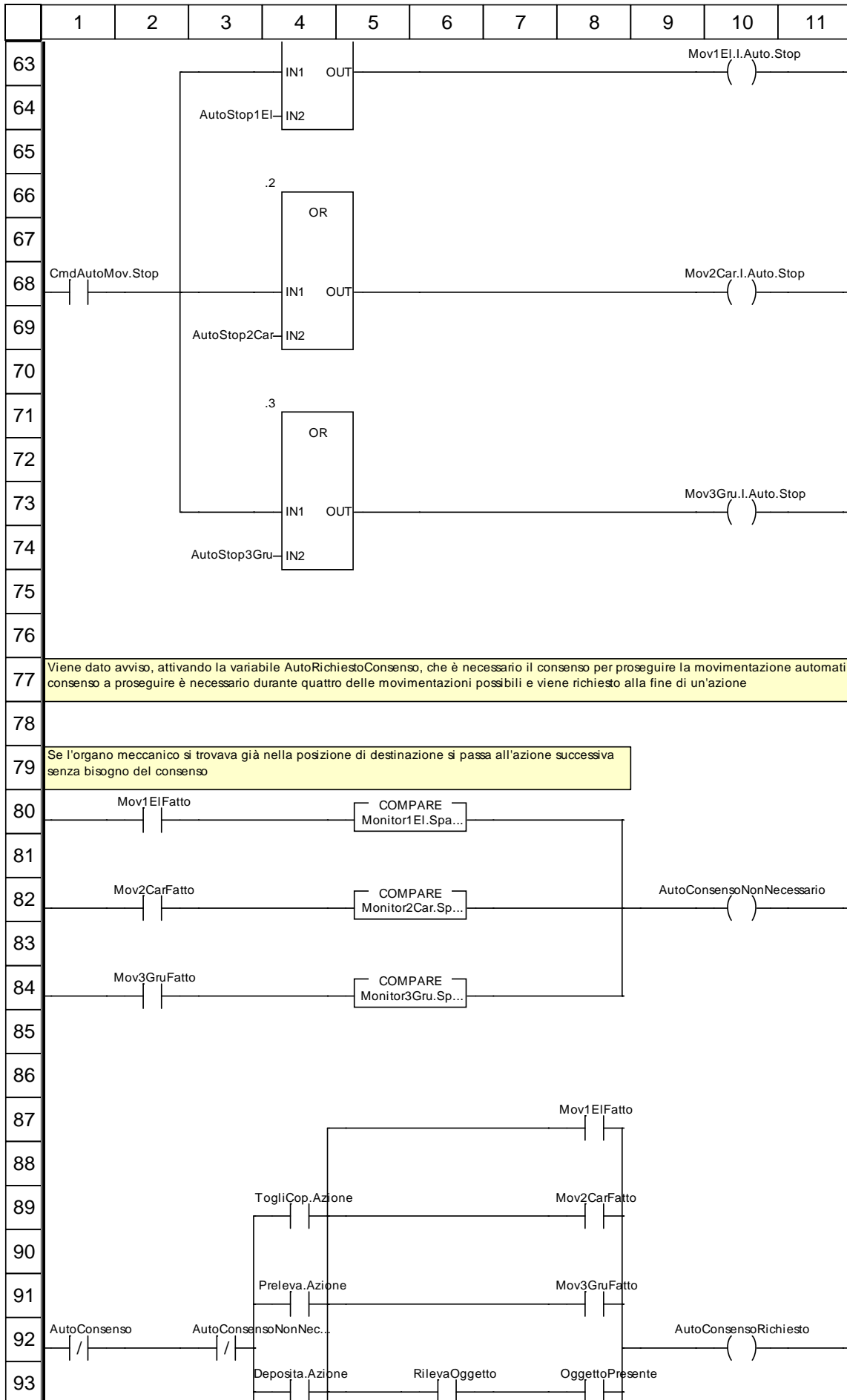
Auto_Abilitazione_Movimenti



Auto_Abilitazione_Movimenti



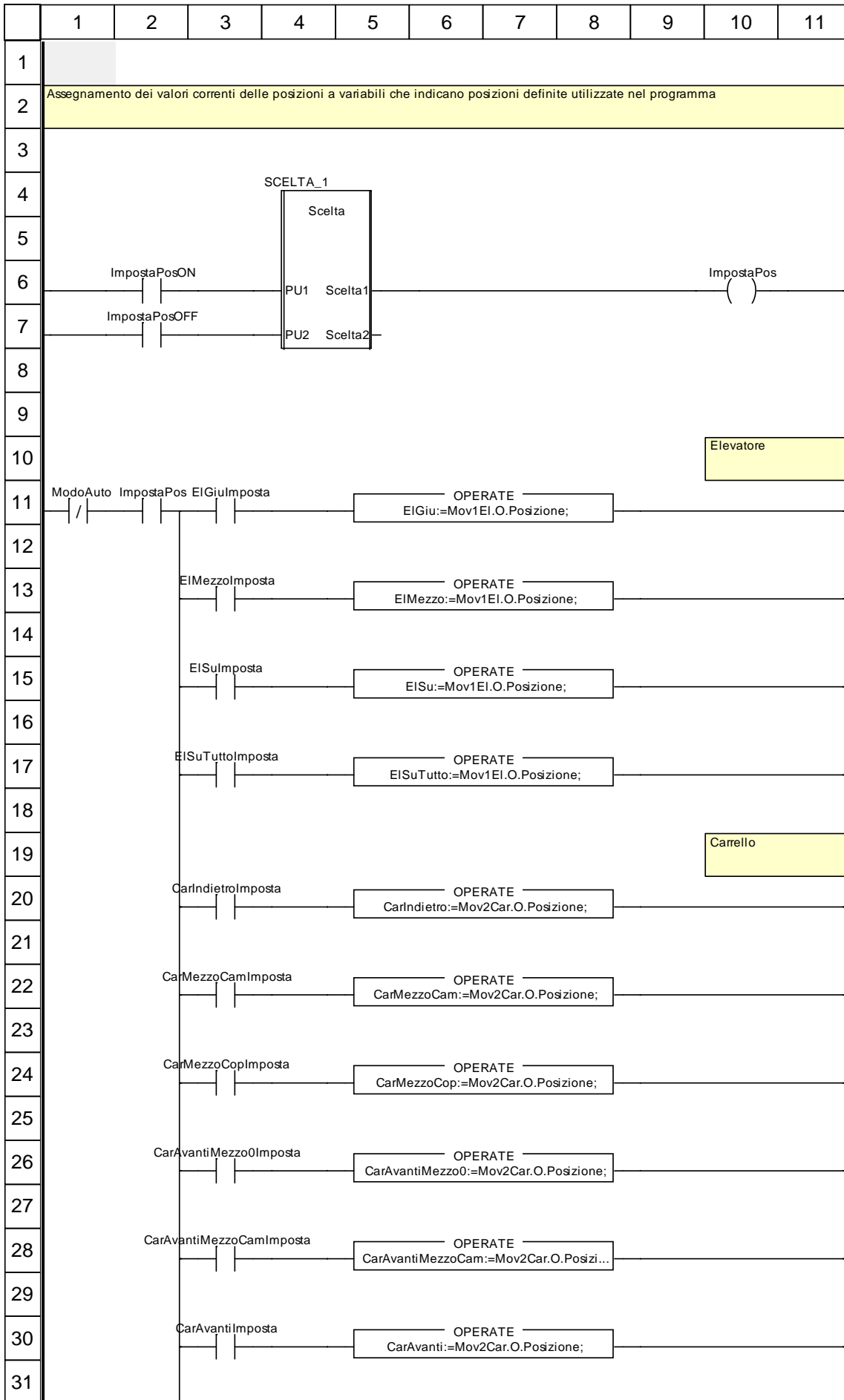
Auto_Abilitazione_Movimenti



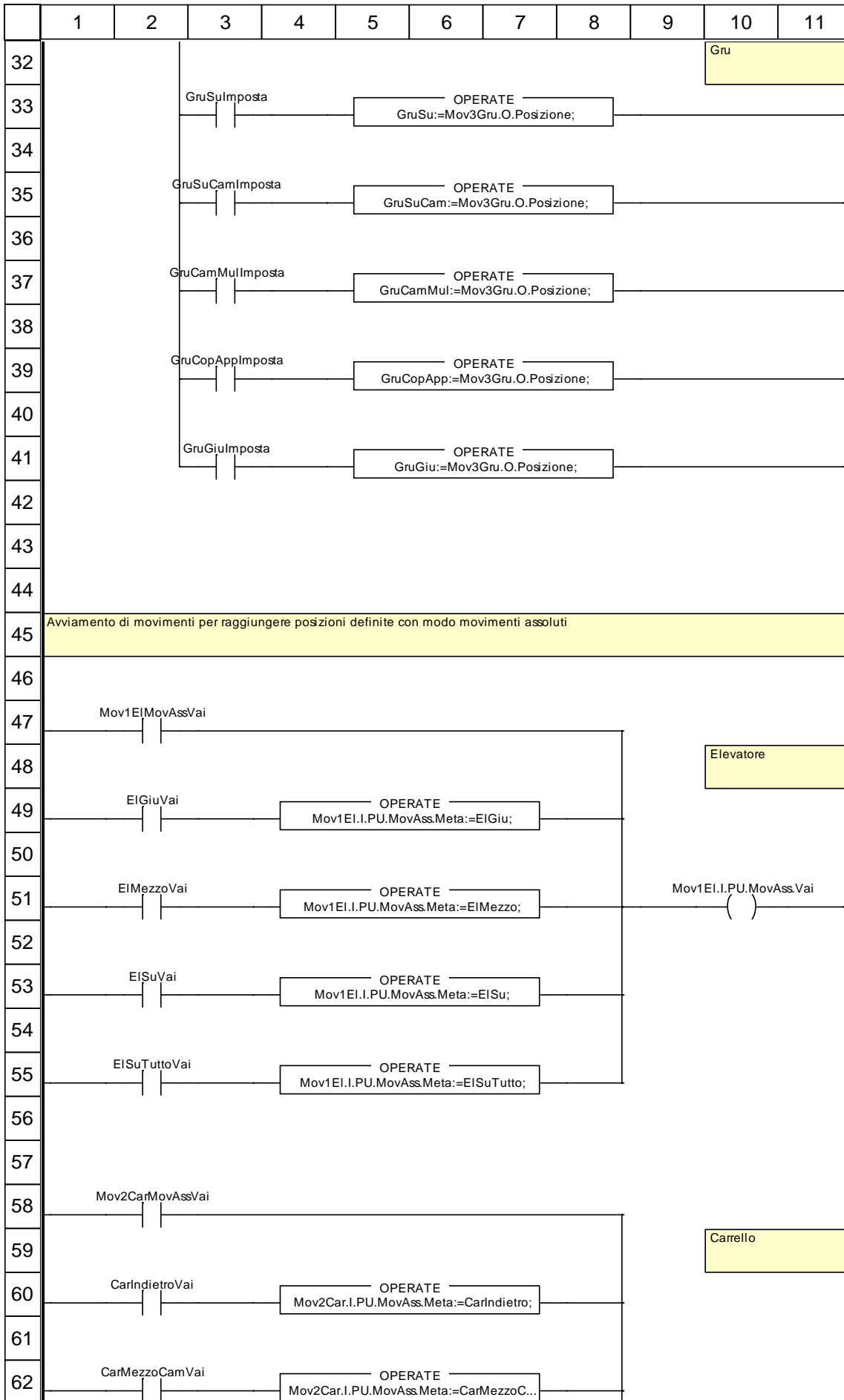
Auto_Abilitazione_Movimenti

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
94											
95				MettiCop.Azione		AbilitaAggancia		Agganciato			
96											
97						AbilitaSgancia		Sganciato			

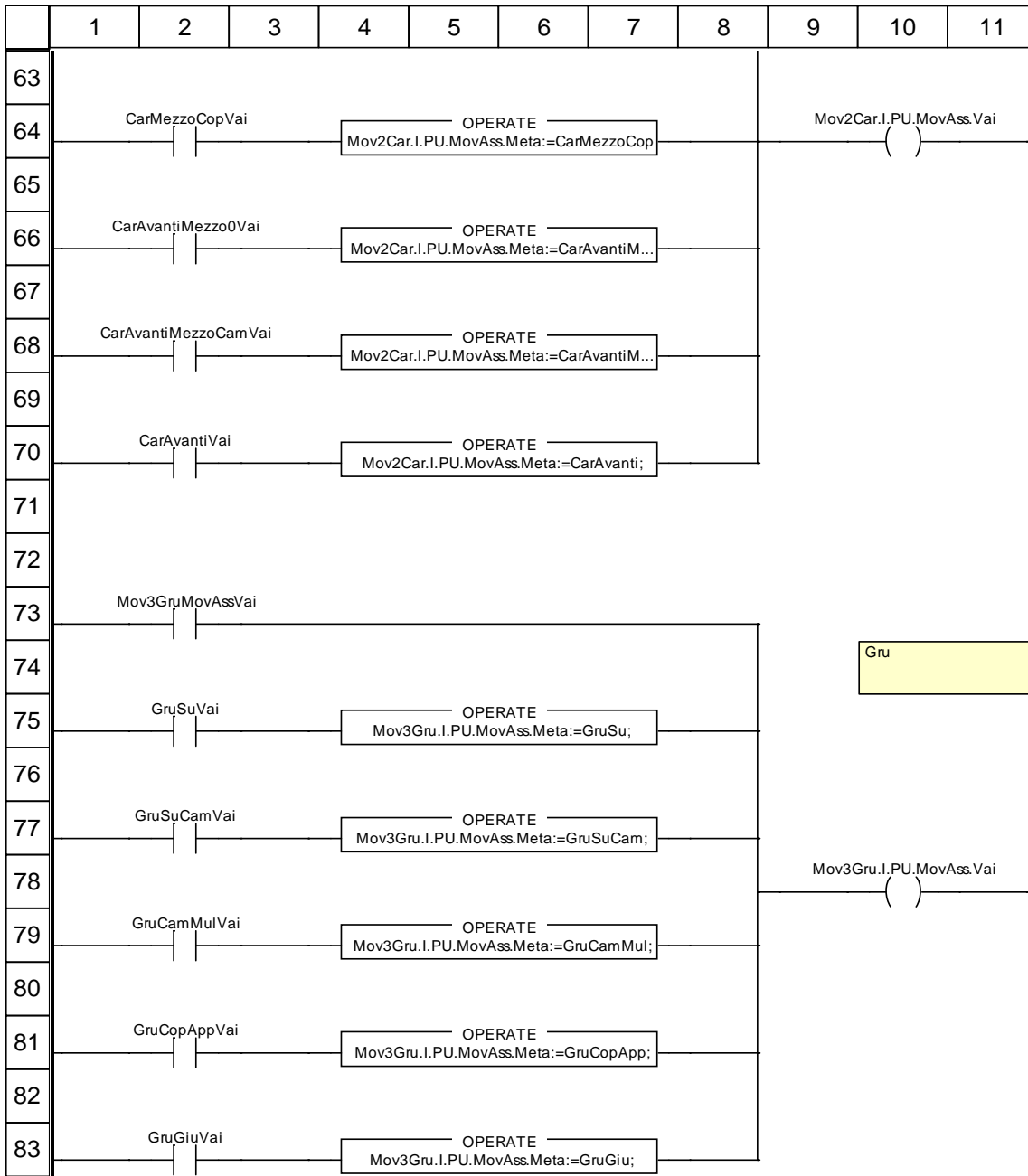
Posizioni



Posizioni



Posizioni



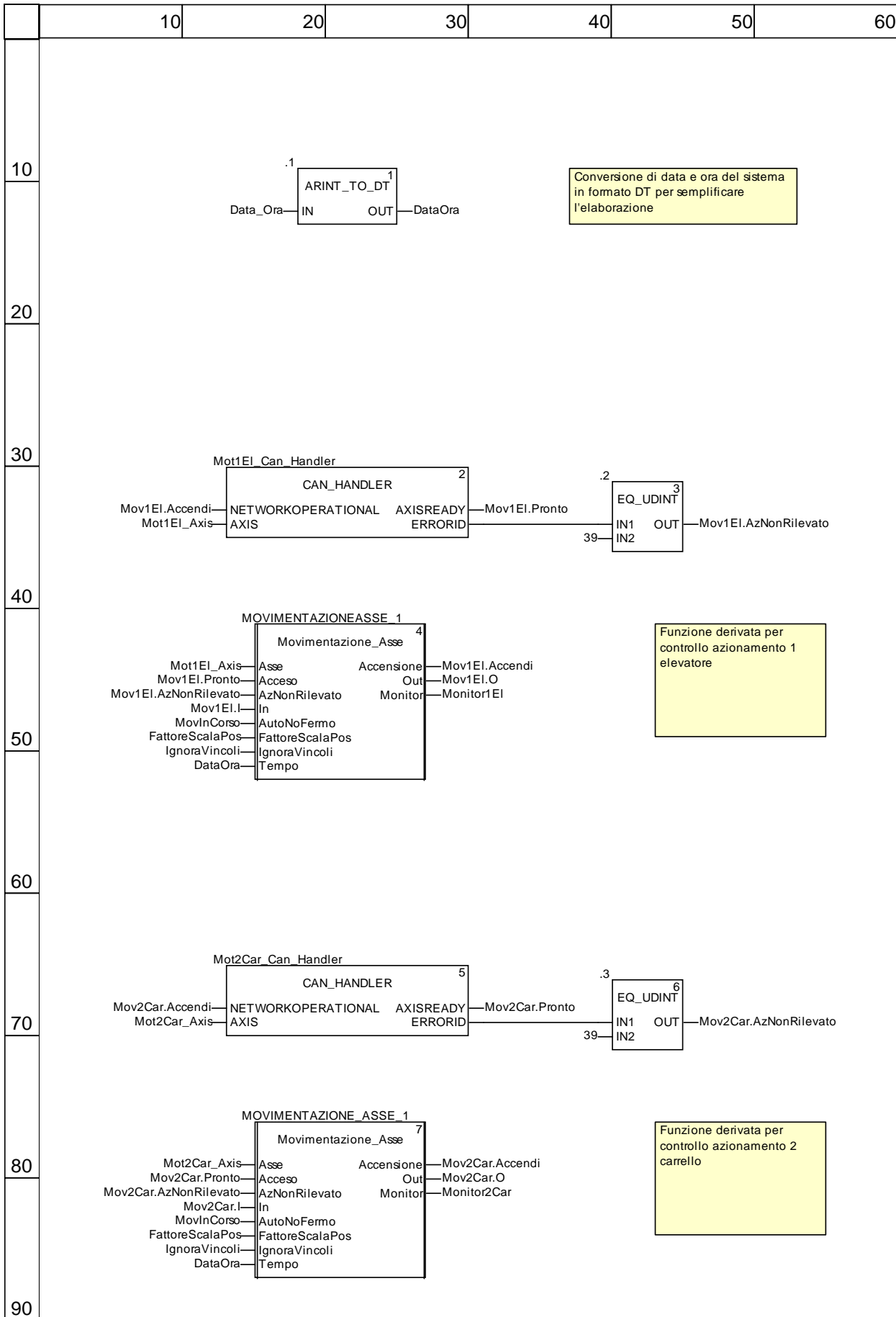
Limiti_Posizioni

```
1|      10|      20|      30|      40|      50|      60|      70|      80|      90|     100|    110| 115|
1  (*Assegnamento dei limiti di posizione dipendenti dalle posizioni reciproche dei componenti meccanici*)
2
3
4
5
6  if (Mov2Car.O.Posizione>=LimCar1 and Mov2Car.O.Posizione<=LimCar3) or (Mov2Car.O.Posizione>=LimCar4 and Mov2Car.O.P
6>osizione<=LimCar5) then
7  (*Se la posizione del carrello pone la gru in corrispondenza del bordo del sarcofago*)
8
9
10 (*Prendi il più restrittivo tra finecorsa elevatore e scontro con gru*)
11 if Sommal3-Mov3Gru.O.Posizione<Lim.Mov1El.Pos then
12   Mov1El.I.VietaMov.LimitePos:=Sommal3-Mov3Gru.O.Posizione;
13 else
14   Mov1El.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov1El.Pos;
15 end_if;
16
17
18 if Mov2Car.O.Posizione<=LimCar2 then
19 (*Se gru è sopra appoggio coperchio*)
20
21 (*Prendi il più restrittivo tra finecorsa gru e scontro con appoggio coperchio*)
22 if Sommal3-Mov1El.O.Posizione<LimGru then
23   Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=Sommal3-Mov1El.O.Posizione;
24 else
25   Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=LimGru;
26 end_if;
27
28 else
29 (*Se gru non è sopra appoggio coperchio*)
30
31 (*Prendi il più restrittivo tra finecorsa gru e scontro con bordo sarcofago*)
32 if Sommal3-Mov1El.O.Posizione<Lim.Mov3Gru.Pos then
33   Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=Sommal3-Mov1El.O.Posizione;
34 else
35   Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov3Gru.Pos;
36 end_if;
37
38 end_if;
39
40
41 (*Se elevatore e gru per fermarsi hanno bisogno di tutto lo spazio tra loro fermali*)
42 if Mov1El.O.PosFermata+Mov3Gru.O.PosFermata>=Sommal3 then
43   Mov1El.I.VietaMov.Pos:=1;
44   Mov3Gru.I.VietaMov.Pos:=1;
45 else
46   Mov1El.I.VietaMov.Pos:=0;
47   Mov3Gru.I.VietaMov.Pos:=0;
48 end_if;
49
50
51 else
52 (*Se la posizione del carrello pone la gru in corrispondenza del bordo del sarcofago*)
53
54   Mov1El.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov1El.Pos;
55
56   (*Se gru è sopra appoggio coperchio limita di conseguenza*)
57   if Mov2Car.O.Posizione<=LimCar2 then
58     Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=LimGru;
59   else
60     Mov3Gru.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov3Gru.Pos;
61   end_if;
62
63
64   Mov1El.I.VietaMov.Pos:=0;
65   Mov3Gru.I.VietaMov.Pos:=0;
66
67
68 end_if;
69
70
71
72
73
74 if Mov1El.O.Posizione+Mov3Gru.O.Posizione>=Sommal3 then
75 (*Se livello gru è sotto bordo sarcofago*)
76
77
78   if Mov2Car.O.Posizione<LimCar1 then
79     (*Se gru dietro sarcofago*)
80
81     Mov2Car.I.VietaMov.LimitePos:=LimCar1;
82     Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=Lim.Mov2Car.Neg;
83
84   else if Mov2Car.O.Posizione>LimCar3 and Mov2Car.O.Posizione<LimCar4 then
85     (*Se gru dentro sarcofago*)
86
87     Mov2Car.I.VietaMov.LimitePos:=LimCar4;
88     Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=LimCar3;
89
90   else if Mov2Car.O.Posizione>LimCar5 then
91     (*Se gru davanti sarcofago*)
92
93     Mov2Car.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov2Car.Pos;
94     Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=LimCar5;
95
96   else
```

Limiti_Posizioni

```
1|      10|      20|      30|      40|      50|      60|      70|      80|      90|      100|      110| 115|
97
98   Mov2Car.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov2Car.Pos;
99   (*Se gru sotto livello appoggio coperchio limita carrello di conseguenza*)
100  if Mov3Gru.O.Posizione>LimGru then
101    Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=LimCar2;
102  else
103    Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=Lim.Mov2Car.Neg;
104  end_if;
105
106  end_if;
107  end_if;
108  end_if;
109
110
111  else
112
113
114  Mov2Car.I.VietaMov.LimitePos:=Lim.Mov2Car.Pos;
115  (*Se gru sotto livello appoggio coperchio limita carrello di conseguenza*)
116  if Mov3Gru.O.Posizione>LimGru then
117    Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=LimCar2;
118  else
119    Mov2Car.I.VietaMov.LimiteNeg:=Lim.Mov2Car.Neg;
120  end_if;
121
122
123  end_if;
```

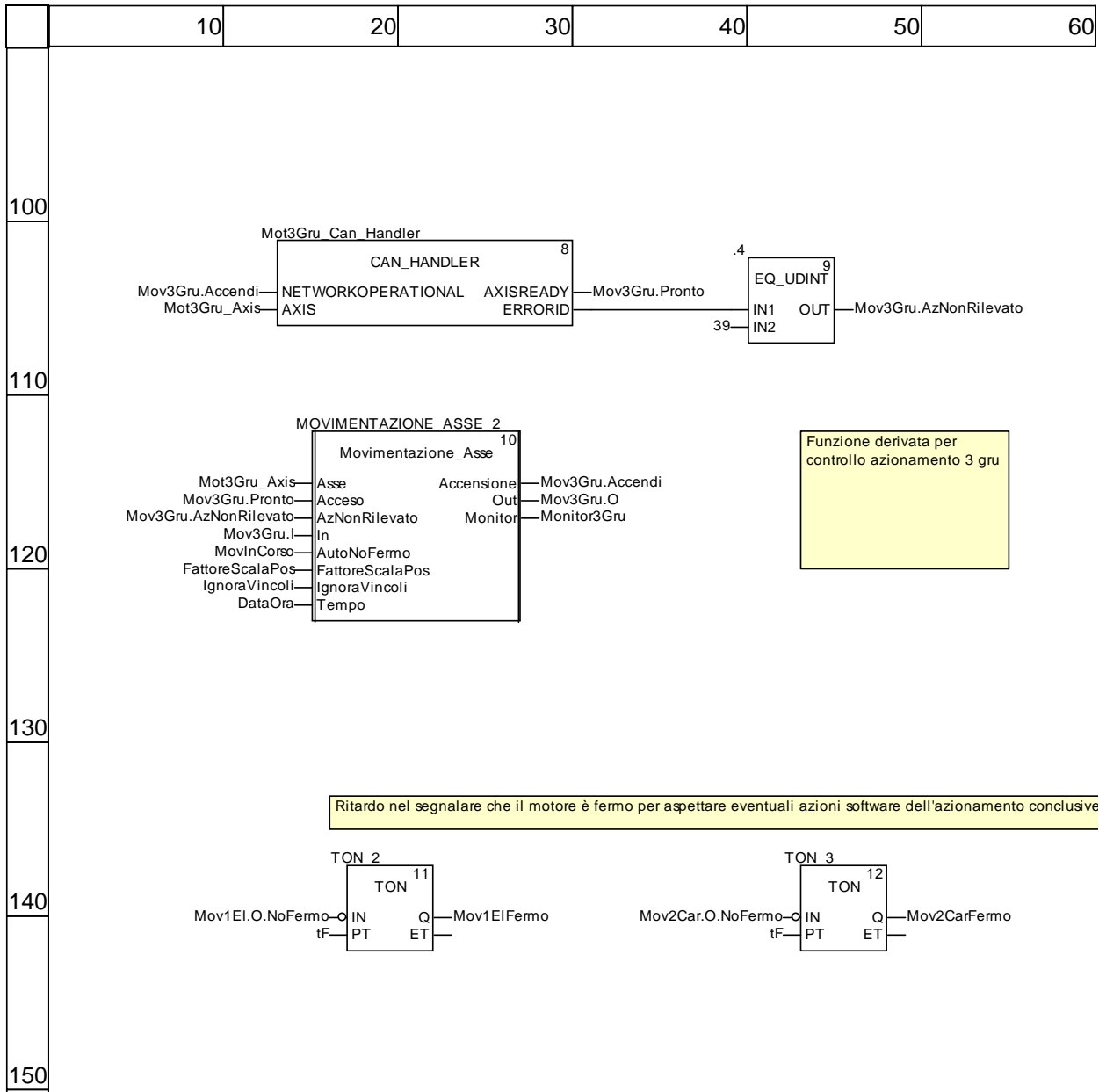
Controllo_Movimentazioni



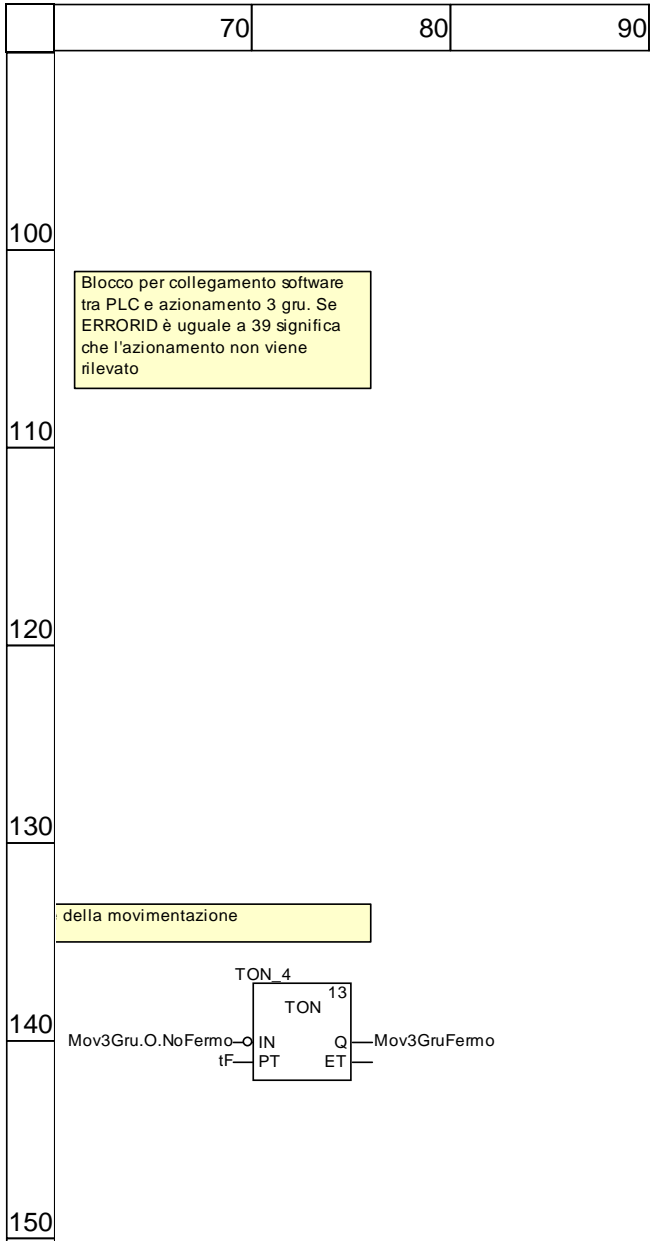
Controllo_Movimentazioni

	70	80	90
10			
20			
30			
40	Blocco per collegamento software tra PLC e azionamento 1 elevatore. Se ERRORID è uguale a 39 significa che l'azionamento non viene rilevato		
50			
60			
70	Blocco per collegamento software tra PLC e azionamento 2 carrello. Se ERRORID è uguale a 39 significa che l'azionamento non viene rilevato		
80			
90			

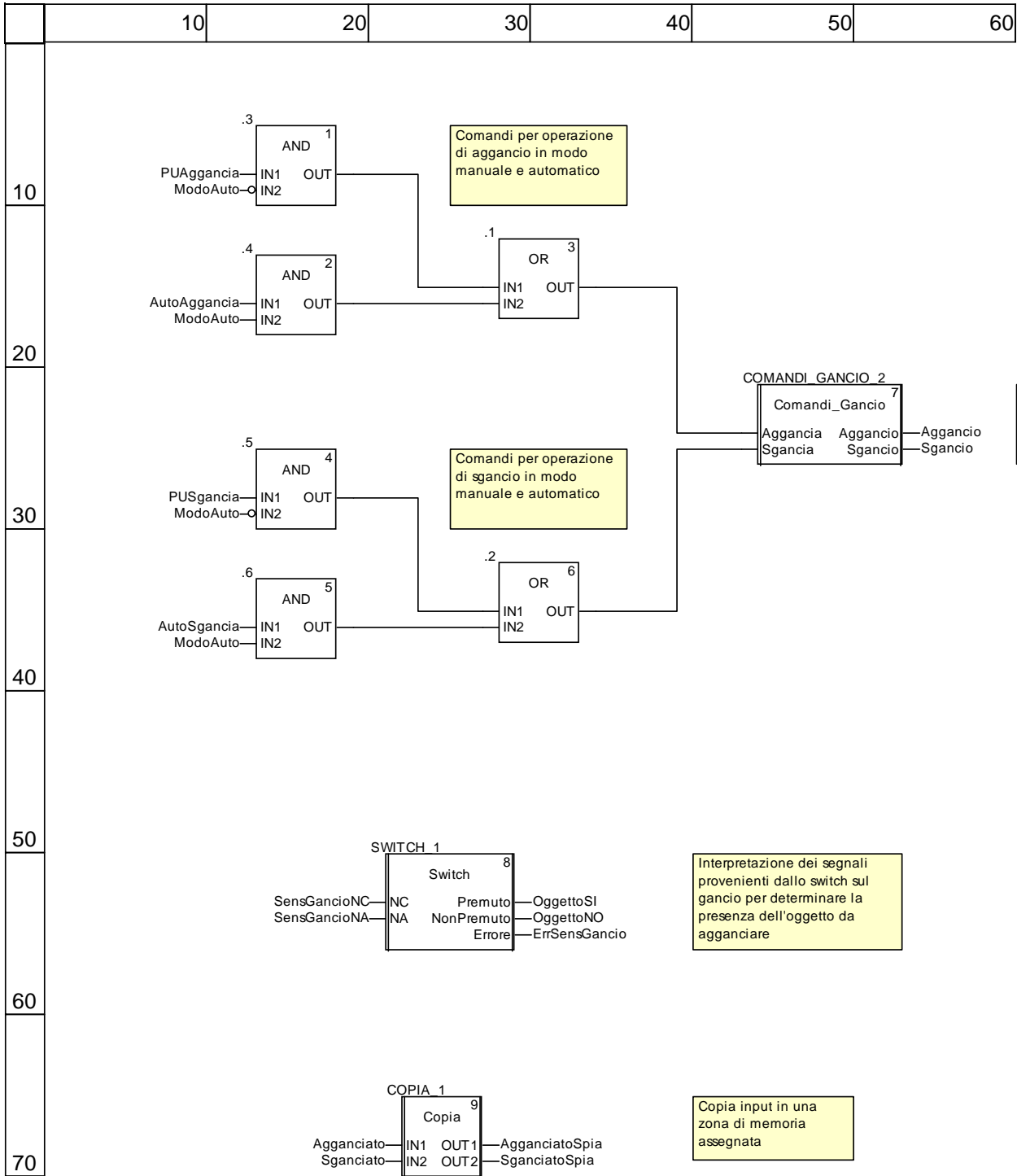
Controllo_Movimentazioni



Controllo_Movimentazioni



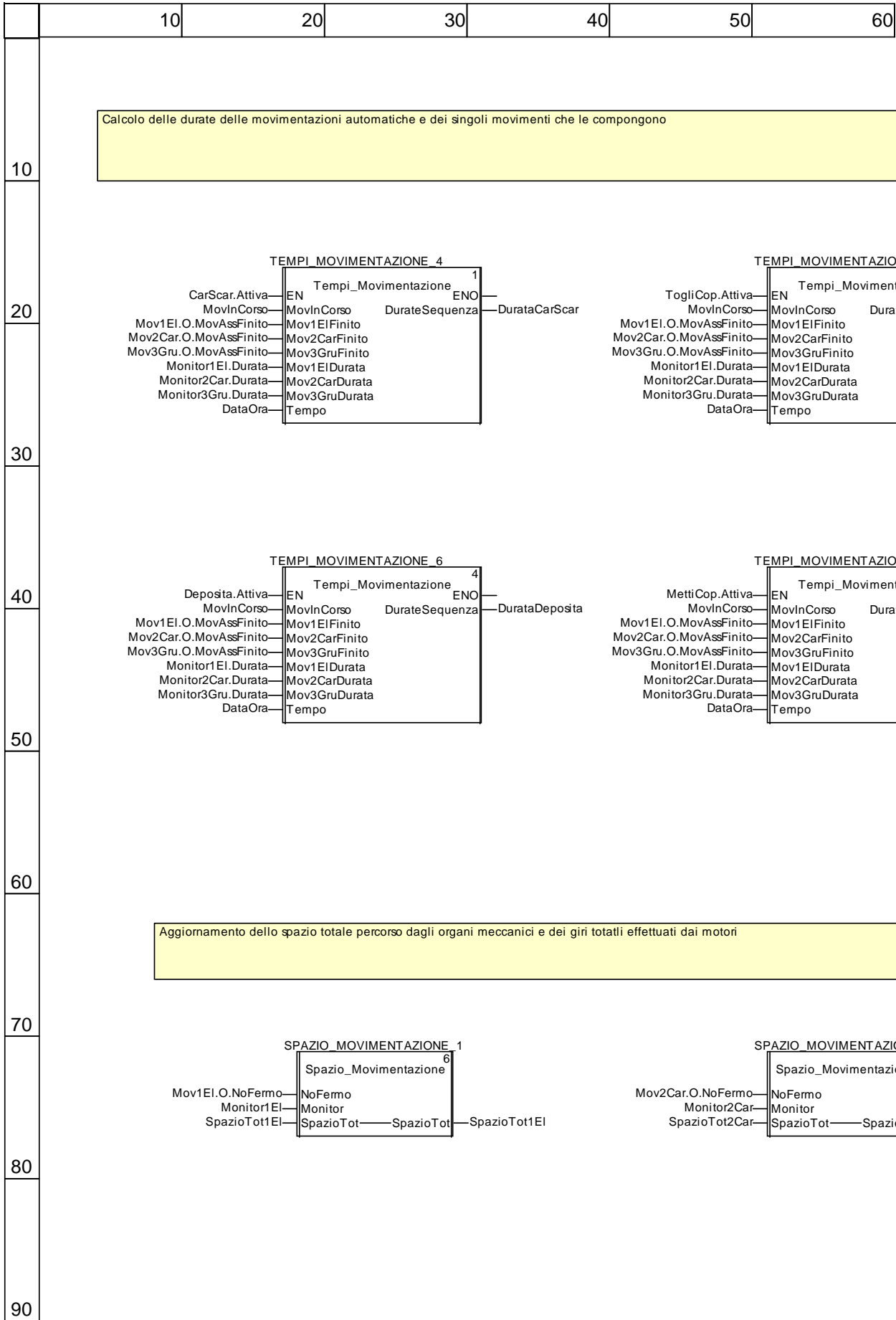
Controllo_Gancio



Controllo_Gancio

	70
10	
20	
30	Funzione per attivare elettrovalvole per aggancio e sgancio
40	
50	
60	
70	

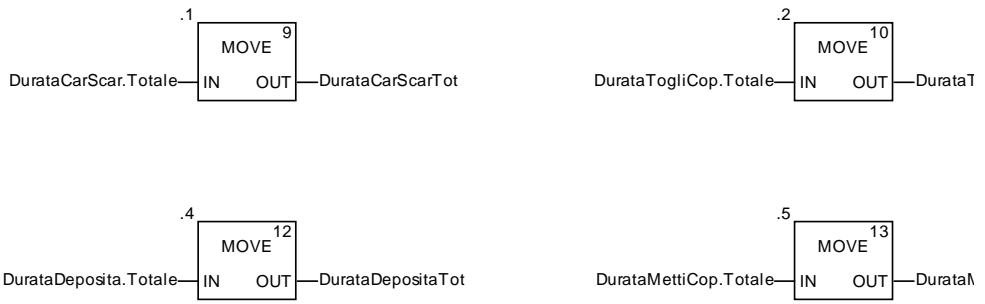
Calcolo_Tempi_Spazi



Calcolo_Tempi_Spazi

	10	20	30	40	50	60
	Copia varibili durate totali delle movimentazioni in zone di memoria assegnate					
100						
110						
120						

Copia varibili durate totali delle movimentazioni in zone di memoria assegnate



Calcolo_Tempi_Spazi

