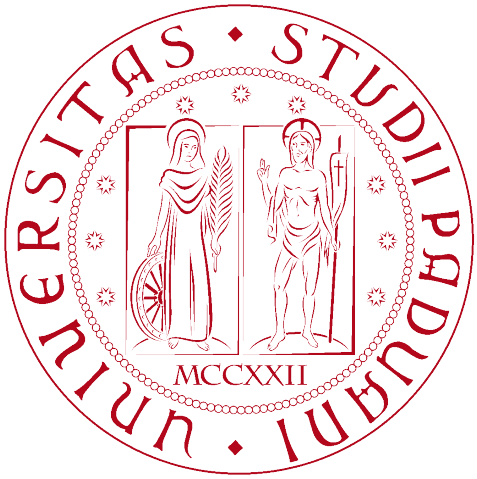


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA INFORMATICA

RELAZIONE DI TIROCINIO
PRESSO LA DITTA Bertazzon 3B S.r.l.

"Analisi delle problematiche relative a progettazione, dimensionamento e realizzazione dell'impianto elettrico di un sistema di automazione industriale"

RELATORE: Prof. Sergio Congiu

TIROCINANTE: Loris Pederiva, matricola 595140

Indice generale

Introduzione....3
Il progetto in esame....4
Linee guida....4
Descrizione di massima del progetto....5
Richieste particolari del cliente....7
Normative di riferimento....7
Realizzazione del progetto....9
Scelte progettuali, analisi del dimensionamento della forza motrice....12
Scelte progettuali, analisi del dimensionamento del circuito di comando....13
Scelte progettuali, analisi del dimensionamento del circuito di illuminazione....14
Il pannello di controllo....15
Sistemi di sicurezza della giostra....16
I sistemi di auto diagnostica....18
La trasmissione dell'energia elettrica dalla parte fissa alla parte rotante della giostra....19
APPENDICE 1....23
Schema elettrico multifilare....23
APPENDICE 2....24
Sorgenti dei programmi del PLC1 e PLC2 24

Introduzione

La presente relazione vuole esporre l'esperienza lavorativa del sottoscritto, dipendente della ditta Bertazzon 3B S.r.l. dall'anno 2001, con particolare riferimento alla progettazione e realizzazione di uno specifico prodotto.

La ditta Bertazzon 3B S.r.l. si trova a Sernaglia della Battaglia, in provincia di Treviso, ed opera da oltre 50 anni nel campo della produzione di attrezzature per luna park. L'azienda presenta una caratteristica unica in tutto il panorama delle imprese: l'intero prodotto viene progettato e costruito all'interno dell'azienda, il comparto produttivo infatti consta di molti reparti per far fronte all'eterogeneità dei materiali e della componentistica necessaria; oltre ad essere fondamentalmente impegnata nel settore metalmeccanico, con popolosi reparti di carpenteria, presse, tornitura e macchine utensili, l'azienda comprende anche un reparto per la lavorazione del legno, uno per la lavorazione delle materie plastiche, uno per la pittura ed uno per la produzione degli impianti elettrici.

Bertazzon 3B corrisponde alle aspettative dei gestori per quanto riguarda la sicurezza, la resistenza e i bassi costi gestionali e manutentivi dei propri prodotti, riuscendo così a distribuire le sue attrazioni in ogni parte del mondo coinvolgendo, conseguentemente, anche grazie alla sua attenzione alle esigenze dell'utenza, una gamma di pubblico molto vasta.

L'esperienza del sottoscritto in Bertazzon 3B è iniziata a fine dell'anno 2001 come operaio metalmeccanico nel reparto carpenteria. La direzione ha ritenuto opportuno farmi fare esperienza in tutti i reparti produttivi prima di farmi approdare alla produzione dei quadri elettrici, dove mi sono occupato di mansioni più attinenti al mio percorso di studi (diplomato all'istituto tecnico industriale, con specializzazione in elettronica). In seguito sono stato promosso in ufficio tecnico con mansioni di progettazione, mantenendo comunque il compito di realizzare gli impianti elettrici delle giostre. Attualmente mi occupo principalmente di progettazione degli impianti elettrici, set up delle macchine direttamente nei parchi giochi e assistenza tecnica ai clienti.

Il progetto in esame

Linee guida

Il catalogo dei prodotti dell'azienda è molto vario, tuttavia dopo alcuni anni di applicazioni si sono delineate delle linee guida che sono comuni ad ogni progetto. In particolare, durante lo studio dell'impianto elettrico di una giostra possiamo identificare due componenti principali, che presentano problematiche differenti:

1) **l'impianto di gestione della forza motrice**: il movimento di una giostra è peculiare. Per esempio, una giostra a cavalli dovrà poter girare a velocità costante con rampe di accelerazione e decelerazione dolci e confortevoli per il pubblico, mentre una giostra come il Musik Express o il Matterhorn (vedi foto alla fine di questo capitolo) devono lavorare a velocità variabili con rampe di accelerazione e decelerazione relativamente brusche per dare sensazioni forti al pubblico.

2) **l'impianto di illuminazion**e: è il biglietto da visita della giostra. Il pubblico è attirato molto dall'immagine che la giostra dà di sé. Le tecnologie realizzative degli impianti luci stanno vivendo un momento di cambiamento da pochi anni a questa parte, con l'introduzione dei LED, che permettono di creare effetti molto suggestivi lavorando ad amperaggi che sono indicativamente un decimo di quelli necessari per creare un impianto tradizionale a lampade, ma con costi ancora relativamente elevati.

Sia nello sviluppo dell'impianto per la gestione della forza motrice che in quello di illuminazione occorre far collimare le richieste del cliente con le reali possibilità realizzative e le normative vigenti nello stato dove verrà esportata la giostra.

Giostra a cavalli

Musik Express

Descrizione di massima del progetto

In questa relazione verrà esposta la realizzazione di una giostra tipo Musik Express, partendo dalla richiesta del cliente fino alla realizzazione e collaudo finale della macchina.

Un Musik Express consiste di un centro girevole con 20 navicelle radiali che corrono su un binario con una particolare calandratura a velocità abbastanza sostenute. Le navicelle sono equipaggiate con dei maniglioni per trattenere gli utenti una volta seduti. La velocità ed il moto ondulatorio delle navicelle danno la sensazione di essere sbalzati fuori dalla giostra, che per questo non è normalmente consigliata a bambini piccoli non accompagnati.

Un Musik Express a tema "Rock&Roll"

Per quanto riguarda la forza motrice, la macchina in configurazione standard prevede per la rotazione della parte girevole 5 motori da 5.5kW, comandati da inverter. Le caratteristiche dinamiche della giostra sono stabilite a priori da calcoli strutturali eseguiti per il dimensionamento meccanico della macchina, e non sono (normalmente) a discrezione del cliente:

- velocità massima di rotazione: 14 giri/minuto
- rampa di accelerazione (da 0 alla massima velocità): 20 secondi
- rampa di decelerazione (dalla massima velocità a 0): 20 secondi

Per rendere la giostra facilmente gestibile da operatori con una formazione minima, il pannello di comando (vedi foto alla fine del paragrafo) è studiato per essere il più semplice ed intuitivo possibile automatizzando le operazioni più frequenti e possibilmente fornendo una diagnostica efficace sui problemi che possono verificarsi. Tutto questa semplificazione per l'utente porta inevitabilmente ad una complicazione per la logica di funzionamento, si ricorre quindi all'utilizzo di un controllore logico programmabile (PLC).

Per quanto riguarda l'illuminazione, è stata concordata con il cliente una tematizzazione “Rock&Roll” con lampade a led bianco su tutti i pannelli (il colore della lampada viene dato

richiudendola dentro un coprilampada stagno, tecnicamente chiamato “cabochon”), e led RGB nell'impianto sottotetto e sulle luci dei bracci. I giochi di luci di tutte i pannelli sono gestiti tramite PLC, mentre i led RGB hanno una propria logica integrata e hanno solo bisogno di essere alimentati.

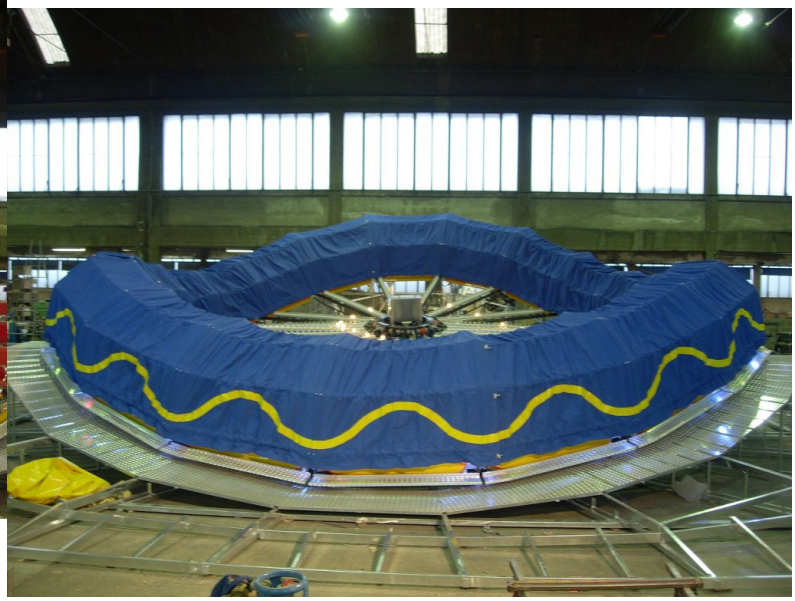
Pannello di controllo

Richieste particolari del cliente

Oltre alla versione standard della giostra, il cliente ha richiesto:

1) l'applicazione di un telo di chiusura sulle navicelle che tecnicamente viene definito “mantice” a causa della sua forma particolare:

Mantice aperto



Mantice chiuso

La caratteristica del mantice è di poter essere chiuso e aperto a discrezione dell'operatore quando la giostra è in movimento. L'attivazione del mantice è elettro-pneumatica, quindi per soddisfare questa richiesta sarà necessario installare un compressore sulla parte fissa della giostra e trovare un sistema di convogliare l'aria compressa sulla parte girevole fino agli attuatori del mantice.

2) un sistema di sicurezza per il controllo della chiusura dei maniglioni delle navicelle: di solito ogni volta prima di far partire la giostra, un operatore deve passare a verificare la chiusura dei maniglioni. Con questo sistema l'operatore non ha bisogno di controllare fisicamente i maniglioni ma basta che ne controlli lo stato su un display LCD dentro alla biglietteria. Inoltre i maniglioni di chiusura vanno equipaggiati con un blocco meccanico-pneumatico.

3) illuminazione a led RGB nel sottotetto e nella parte girevole della giostra.

Normative di riferimento

La macchina andrà installata in Brasile. Le normative elettriche brasiliane sono compatibili ma meno restrittive di quelle europee; seguiremo queste ultime.

La materia è disciplinata in Italia da una serie di leggi e decreti che partono dal 1955 al 2001. Fra questo corpus abbiamo la legge n. 186 del 01 marzo 1968, che impone la realizzazione degli impianti elettrici ed elettronici, installazioni e macchinari "a regola d'arte", riconoscendo allo stesso tempo alle normative CEI la regola dell'arte.

In tempi più recenti questo principio è stato ripreso e sviluppato dalla legge n.46 del 5 marzo 1990. Attualmente la legge 46/90 è stata abrogata insieme al Dpr 447 ed è sostituita dal DM 37 del 22 gennaio 2008. I punti salienti della legge sono:

- la limitazione all'installazione e manutenzione degli impianti a soggetti abilitati, in possesso

di requisiti tecnico-professionali riconosciuti;
- l'obbligo di rilascio della dichiarazione di conformità da parte dell'installatore;
- l'obbligo di utilizzo di materiali certificati a norma, sia nella loro scelta, sia nella loro messa in opera;
- la necessità di redigere un progetto per gli impianti che superano alcune dimensioni di metratura o sono relative ad impianti particolari (medici, a maggior rischio in caso di incendio o sono ambienti a rischio di esplosione);
- la protezione dell'utilizzatore da contatti diretti (il contatto con parti normalmente in tensione) e indiretti (parti metalliche che non dovrebbero essere in tensione, come le carcasse degli elettrodomestici);
- l'obbligo dell'impianto di messa a terra;
- l'obbligo di installazione dell'interruttore differenziale;

In Italia le norme tecniche che definiscono la modalità di costruzione e installazione dei componenti elettrici sono redatte dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), che a sua volta recepisce le normative europee (EN).

Realizzazione del progetto

Tutti i dimensionamenti e le scelte progettuali fanno riferimento agli schemi elettrici riportati in appendice.

Le tensioni di riferimento sono:

- 400Vac trifase per l'alimentazione della forza motrice
- 400Vac trifase per l'alimentazione della luce
- 230Vac monofase per le singole linee luci (le lampada a 60V sono cablate in serie di 4)
- 24Vac monofase per le tensioni di comando di relè e comandi
- 24Vcc per l'alimentazione dell'elettronica e dei comandi

Gli interruttori automatici (interruttori magnetotermici) utilizzati sono tutti con curva di intervento di tipo C: impianti complessi vengono divisi gerarchicamente in zone scegliendo interruttori con diverse curve di intervento. In questo impianto viene implementata una gerarchia piuttosto semplice: interruttore generale a monte (generale linea luce o generale linea motrice) ed interruttore secondario a valle, è sufficiente quindi che gli interruttori abbiano amperaggi diversi.

L'interruttore magnetotermico è un dispositivo che, combinando l'azione di due diversi meccanismi (**sganciatore termico** e **sganciatore magnetico)** permette la protezione della porzione di impianto elettrico a valle dal corto-circuito e dal sovraccarico. Entrambi i fenomeni vanno sotto il nome di "sovracorrenti", che possono compromettere l'integrità delle condutture e degli apparecchi utilizzatori, ma vanno trattati in maniera completamente diversa: il corto-circuito presuppone un guasto e va interrotto sempre e in tempi brevissimi, perché le correnti in gioco sono tali da produrre effetti termici e meccanici pericolosi quasi istantanei; il sovraccarico può invece manifestarsi anche in un circuito elettricamente sano (ad esempio a causa della corrente di spunto di un motore elettrico) e l'entità degli effetti dannosi sulla conduttura dipende dal tempo per cui la corrente supera la portata Iz della stessa.
Pertanto lo sganciatore magnetico, che apre l'interruttore in caso di corto-circuito, agisce se la corrente supera una determinata soglia Im (massima corrente) a prescindere dal tempo per cui questa si presenta; la sua curva caratteristica di intervento tempo-corrente è quindi una retta orizzontale e infatti viene anche detto *sganciatore di massima corrente a tempo indipendente*. Lo sganciatore termico, invece, allo scopo di lasciar passare le sovracorrenti "funzionali" (dovute cioè al normale funzionamento dell'apparecchiatura elettrica a valle) e interrompere le sovracorrenti "anomale" ha una curva caratteristica di intervento tempo-corrente di tipo iperbolico e viene infatti detto *sganciatore di massima corrente a tempo inverso*. In questo modo le correnti di poco superiori a quella nominale vengono permesse anche per tempi lunghi (per esempio una corrente di 1,05*In viene detta "corrente di non intervento" perché può essere tollerata per 1 ora nei magnetotermici con In>63A e per oltre 2 ore nei magnetotermici con In<63A) , mentre le correnti via via crescenti saranno tollerate per tempi via via inferiori. La combinazione di queste due curve costituisce la curva di intervento del magnetotermico. (rif. CEI 64-8 , art. 433 e 434)

Interruttori monofase	Interruttori trifase	
6A	16A	250A
10A	25A	400A
16A	32A	630A
20A	40A	1000A
25A	50A	1250A
32A	63A	1600A
40A	80A	
50A	100A	
63A	125A	

Lista delle taglie commerciali di interruttori automatici

Le sezioni dei fili vengono scelte in base alla seguente tabella IEC:

Sezione (mmq)	Portata del filo di rame (A)	Portata del filo di alluminio (A)
0,7	12	-
1	15	-
1,5	18	-
2,5	26	20
4	34	27
6	44	35
10	61	48
16	82	64
25	108	85
35	135	105
50	168	132
70	207	163
95	250	197
120	292	230
150	335	263
185	382	301
240	453	357
300	504	409

L'interruttore va scelto in base alla seguente relazione:

$IB \leq IN \leq IZ$

Dove: IB è la corrente di impiego della linea, IN è la corrente nominale o portata dell'interruttore, IZ è la portata del cavo;

Le persone che andranno ad utilizzare la giostra si dividono in 3 gruppi:

- **manutentori**: normalmente dipendenti di chi acquista la giostra, con una formazione tecnica mirata alla manutenzione ordinaria e straordinaria della giostra. Di solito hanno anche il compito di accendere e spegnere ogni giorno le macchine.
- **operatori**: persone senza una formazione particolare addette alle normali operazioni della giostra, come carico e scarico degli utenti, marcia e arresto dei cicli della giostra.
- **utenti**: gli utenti finali che vanno in giostra.

Scelte progettuali, analisi del dimensionamento della forza motrice

- **I motori per la rotazione** della giostra sono 5, del tipo asincrono trifase, hanno una potenza nominale di 5.5kW ciascuno. Ogni motore viene protetto contro i sovraccarichi da una protezione termica (detta "salvamotore") tarata a 16A sulla base della corrente nominale dei singoli motori (componenti FR2, FR3, FR4, FR5, FR6 negli schemi elettrici).
- I motori sono autofrenanti (foglio 17 dello schema elettrico), ognuno quindi è dotato di un **freno elettromagnetico** che deve essere alimentato per permettere al motore di girare. Questo fa in modo che la giostra si fermi velocemente in condizioni di emergenza. I freni elettromagnetici vanno alimentati a 230Vac, e trattandosi di carichi induttivi è opportuno mettere a valle del loro circuito di alimentazione un trasformatore di isolamento che annulli i disturbi elettromagnetici. E' stato misurato un consumo di circa 0.20A per ogni freno, la linea quindi è protetta da fusibili in vetro 5x20mm da 2A.
- Le prove dinamiche sulle giostre precedenti hanno dimostrato che lo spunto iniziale richiesto ai motori per muovere la giostra in condizioni di pieno carico può arrivare al 200% della potenza nominale, quindi viene scelto un **convertitore di frequenza** (chiamato tecnicamente anche "inverter", codice negli schemi INV1) che riesca a fornire la potenza necessaria ai motori. La potenza nominale dei motori è $5.5\text{kW} \times 5 = 27.5\text{kW}$, l'inverter scelto è un Allen Bradley Powerflex 700 con taglia nominale di 37-45kW, capace di erogare 55.5-67.5kW per 3 secondi. Per il dimensionamento dell'interruttore di alimentazione QF3 da 100A si utilizzano valori tabellari forniti dal costruttore dell'inverter.
- Per il **contattore di accensione** dell'inverter (C1) viene scelto un componente con contatti in grado di sopportare una corrente di 85A a 400V e bobina di comando da 24Vac
- Il convertitore di frequenza deve gestire rampe di accelerazione e decelerazione con carichi che possono essere molto elevati, basti pensare all'inerzia meccanica di tutta la parte girevole della giostra più tutti gli utenti sulle navicelle. Mentre durante l'accelerazione l'inverter fornisce potenza ai motori, durante la decelerazione deve dissipare la corrente rigenerata dai motori (un motore asincrono trifase è una macchina reversibile, che può quindi creare energia elettrica). Per dissipare questa corrente occorre quindi equipaggiare l'inverter con una **resistenza di frenatura** (R1) dimensionata correttamente. Per il dimensionamento della resistenza si seguono le tabelle fornite dal costruttore dell'inverter, è comunque da tenere presente in fase di realizzazione che la circuiteria che collega la resistenza di frenatura va realizzata tenendo conto che vi circola una tensione continua di $400 * \sqrt{(3)} \approx 700\text{V}$ (400Vac raddrizzata). Viene quindi utilizzato del particolare filo sterlingato. La stessa resistenza di frenatura viene protetta dal surriscaldamento tramite una protezione termica tarata a 25A (FR1)

Scelte progettuali, analisi del dimensionamento del circuito di comando

La circuiteria di comando e gestione dei sistemi ausiliari viene alimentata tramite una linea da 10A (interruttore magnetotermico QF4). A valle di questo interruttore si trovano:

- una linea per alimentare **ventole di raffreddamento** (V1, V2) del quadro ed una **sirena** (HA1). La potenza richiesta da questi attuatori è circa 200W, quindi vengono posti a valle di un trasformatore monofase 400->230Vac da 400VA (TR3)
- per la logica del sistema è previsto l'uso di un **plc** e in minima parte di r**elè elettromeccanici** a 24Vac; per la visualizzazione dei dati di funzionamento della giostra viene utilizzato un **display lcd** da installare nel pannello di controllo dentro la cassa. Indipendentemente dalla scelta che verrà fatta di plc e pannello di visualizzazione, è ragionevole dimensionare una linea con un trasformatore dedicato monofase 400->230Vac da 250VA (T4)
- per quanto riguarda **relè**, **contattori** ed il resto delle utenze a 24Vac utilizziamo un trasformatore monofase 400->24Vac da 400VA (T5). Tale trasformatore può sembrare eccessivamente sovradimensionato (la corrente al secondario del trasformatore arriva a $400VA \div 24Vac \simeq 16A$), ma quando si tratta di applicazioni personalizzate come in questo caso, è ragionevole lasciare un ampio margine per eventuali modifiche.

Scelte progettuali, analisi del dimensionamento del circuito di illuminazione

Un singolo punto luce a led da 60V assorbe 1Watt. Il dimensionamento delle linee luci va fatto quindi contando quanti punti luce vanno installati sulla giostra. Il sistema di illuminazione viene diviso in zone, ed ogni zona viene a sua volta divisa in canali che vengono commutati a seconda dei giochi luci previsti:

Zona	**Numero di punti luce**	**Numero di canali**
Sopraffacciate	1350	3
Abbellimento	1006	6
Bordo abbellimento	330	3
Pensilina	1500	6
Fascione	1312	6
Scritta	328	8
TOTALE	5826	

Per i giochi di luci ogni singolo canale viene commutato da un relè statico, un tipo di relè senza contatto meccanico ma con tecnologia a MOSFET in grado di pilotare grossi carichi prevalentemente resistivi (componenti CR1 – CR50 nello schema elettrico). I relè statici vengono pilotati a loro volta da uscite digitali del plc. Normalmente fanno eccezione i giochi luci della parte girevole della giostra (i bracci e la semisfera centrale), in quanto non essendo previsto un plc nella parte centrale, si ricorre all'uso di schede elettroniche dedicate.

- La richiesta del cliente prevede l'utilizzo di led RGB per quanto riguarda l'**illuminazione del sottotetto**. I led RGB sono particolari tipi di lampada che possono cambiare diversi colori variando le tonalità di rosso, verde e blu (da cui il nome RGB: Red Green e Blue). Ogni lampada ha già al proprio interno una logica che implementa dei semplici giochi luci. Vanno alimentate a 24Vac, vanificando però uno dei vantaggi dell'utilizzo dei led, cioè la bassa corrente nominale: una lampada ad incandescenza a 220V per questo impianto consuma 8W, mentre per ottenere la stessa resa luminosa l'alternativa è l'utilizzo di lampade a led che consumano solo 1W. Però, mentre la comune lampada a filamento è percorsa da una corrente di $8W \div 220V = 36mA$, il led in configurazione a 24Vac assorbe una corrente di $1W \div 24Vac = 42mA$. Quindi in questo caso, l'assorbimento di corrente del singolo punto luce a led è maggiore. E' necessario dimensionare attentamente i fili tenendo conto che le stagge sottotetto sono 12: prevediamo quindi 2 trasformatori da 1500VA (T6 e T7) per alimentare 6 linee ciascuno, ogni linea protetta da fusibili da 10A (F33-F44). La linea del sottotetto verrà alimentata da un interruttore magnetotermico da 16A.
- Sempre tra le richieste del cliente c'è di equipaggiare i bracci porta navicelle con dei led RGB. Installiamo quindi un trasformatore da 2500VA per alimentare le venti barre luminose sui 20 bracci.
- Ogni navicella ha 8 lampade led a 24Vcc. Il consumo della singola lampada è 35mA, ogni navicella consuma quindi 0.28A, 20 navicelle consumano 5.6A. Viene quindi installato nel centro girevole un alimentatore stabilizzato da 240W capace di erogare una corrente di 10A a 24Vcc.
- Nella linea della luce prevediamo anche l'alimentazione per la biglietteria tramite una linea trifase da 16A, alimentata attraverso l'interruttore magnetotermico QF18.

Il pannello di controllo

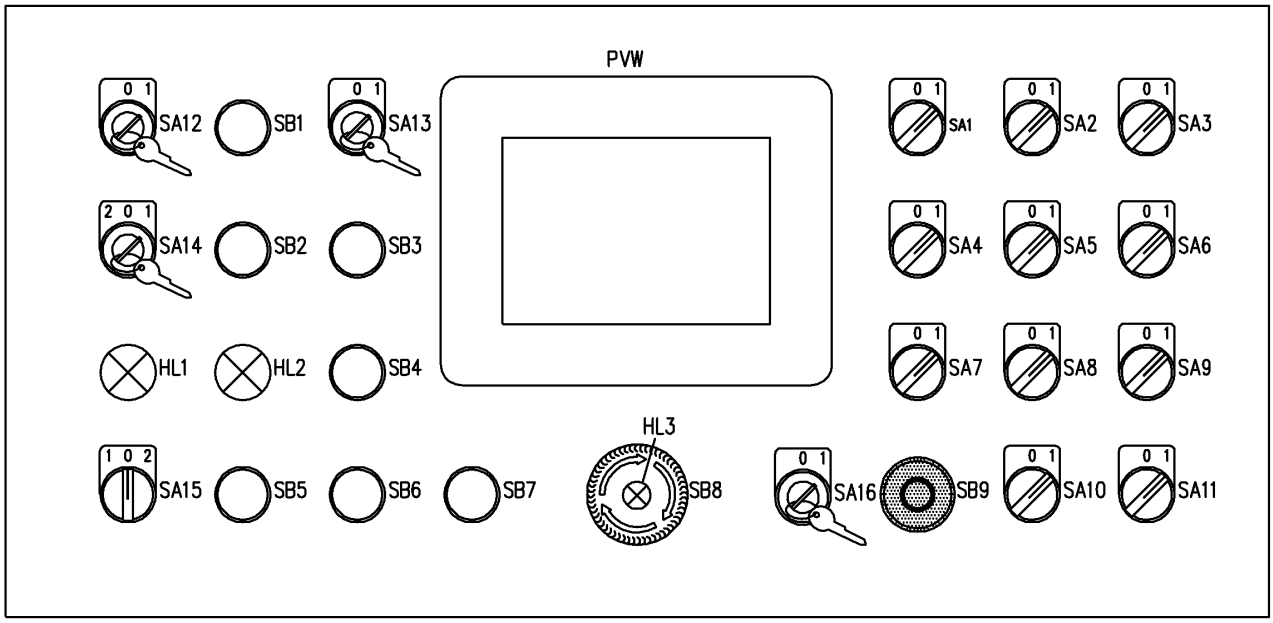
Il pannello di controllo (foglio 37 dello schema elettrico) è l'interfaccia tra la giostra e l'operatore.

La superficie della pulsantiera è divisa in 3 zone: nell'area di sinistra ci sono i comandi per il movimento, nell'area centrale c'è il display per la visualizzazione dello stato della macchina ed il fungo per la fermata di emergenza e sulla destra ci sono tutti i selettori per i comandi della luce e del mantice.

Accensione della giostra: Condizione ideale (ma non necessaria) per l'accensione della macchina è che tutti gli interruttori automatici sia della parte motrice che dell'impianto luci siano attivi. Soddisfatta questa condizione, l'operatore deve eseguire le seguenti azioni:

1) Accensione del selettore “MAIN” (SA12). Questo dà tensione ai plc, al display ed il resto dei comandi
2) Accensione del pulsante “START F.DRIVE” (SB1). Questo accende l'inverter.
3) A questo punto i sistemi sono attivi e l'operatore può scegliere se lavorare in modalità automatica o manuale agendo sul selettore SA13. In modalità manuale l'operatore preme “START FORWARD” oppure “START BACKWARD” (pulsanti SB5 ed SB6), per far partire la giostra. La velocità di rotazione viene impostata tramite i pulsanti “ACCEL” e “DECEL” (SB3 ed SB4) e per fermare la giostra viene premuto il pulsante “STOP” (SB7). In modalità automatica la giostra parte e si ferma secondo dei tempi e delle velocità preimpostate nella logica del plc. L'operatore può in ogni caso premere “STOP” per fermare la giostra prima della fine del ciclo automatico.
4) I comandi di luce e mantice sono banali, ogni selettore accende o spegne una linea come indicato nello schema elettrico.

Viene di seguito descritta l'implementazione della logica di comando della giostra.

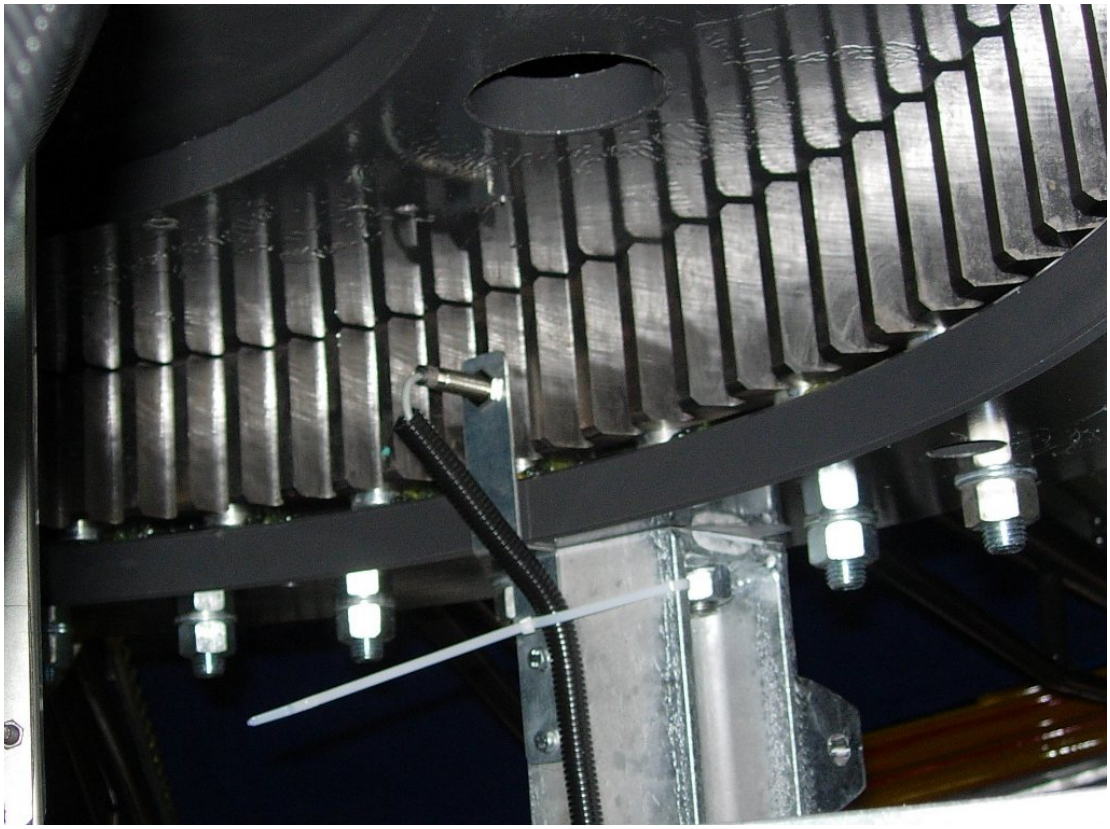


Layout del pannello di comando

Sistemi di sicurezza della giostra

Nella giostra sono previsti i seguenti meccanismi di sicurezza di pertinenza dell'impianto elettrico:

- **Condizione di emergenza indotta dall'operatore tramite la pressione del pulsante a fungo di emergenza**: la macchina prevede due funghi di emergenza, uno sul pannello di controllo (pulsante SB8 nel foglio 37 dello schema elettrico) ed uno su una scatoletta piazzata all'altra estremità della giostra (pulsante SB10 nel foglio 7 dello schema). Alla pressione di uno di questi pulsanti viene spenta tutta la parte motrice della giostra. In particolare, venendo a mancare l'energia elettrica ai freni dei motori, la giostra rallenta bruscamente fino a fermarsi. L'impianto di illuminazione viene lasciato acceso per consentire l'evacuazione della giostra in ragionevole sicurezza anche al buio. Una volta premuto un pulsante di emergenza occorre quindi rieseguire tutta la procedura di accensione della macchina.
- **Presenza dell'operatore #1**: al pannello di controllo è collegato un interruttore a pedale che deve essere sempre premuto durante le operazioni della giostra. La giostra non si muove se il pedale non è premuto. Questo dovrebbe garantire la presenza di una persona in prossimità del pulsante a fungo di emergenza.
- **Presenza dell'operatore #2**: sul pannello di controllo c'è un selettore a chiave (SA16) che inibisce il movimento della giostra. La chiave è data in custodia all'operatore, questo dovrebbe garantire che solo l'operatore designato può far muovere la giostra.
- **Sovravelocità**: l'inverter è un componente elettronico e come tale può non essere affidabile al 100%. Per controllare che la giostra a causa di un malfunzionamento vada troppo veloce si effettua un controllo contando tramite un sensore induttivo i denti della ralla centrale su



Sensore sovravelocità sui denti della ralla centrale

cui sono installati i bracci della giostra (vedi foto). Il plc è in grado così di estrapolare la velocità della giostra e fermarla se necessario: ogni due secondi conta quanti denti sono passati sotto il sensore, e conoscendo la quantità di denti della ralla si stima anche la velocità della giostra.

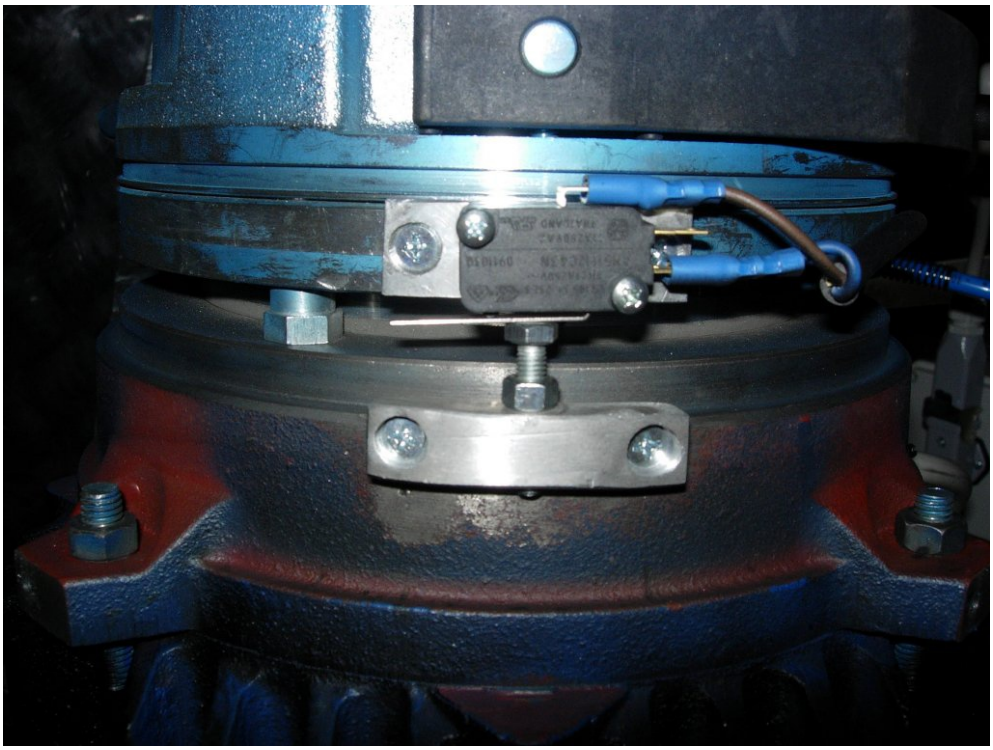
- **Chiusura dei maniglioni:** come richiesto dal cliente, occorre implementare un sistema che eviti alla giostra di muoversi se non tutti i maniglioni delle navicelle sono chiusi. Equipaggiamo quindi ogni maniglione di un sensore induttivo a 24Vcc che senta se il maniglione è chiuso o aperto (sensori SQ1...SQ20 nello schema elettrico). Il posizionamento del sensore è compito del dipartimento meccanico; di comune accordo si è scelto di installare un sensore induttivo perché rispetto ai comuni microinterruttori meccanici non è soggetto a rottura (non ha parti meccaniche in movimento) e rispetto ai sensori capacitivi è molto preciso nella percezione del metallo (ed il maniglione è metallico).
- **Presenza di aria nel circuito pneumatico**: come richiesto dal cliente, la macchina deve funzionare solo se i maniglioni sono chiusi. Per evitare che si aprano in movimento, magari a causa di operazioni improprie da parte dell'utente, i maniglioni vanno bloccati con un sistema pneumatico. La realizzazione del sistema di bloccaggio è di competenza del dipartimento meccanico; l'abilitazione del sistema di interblocco avviene tramite l'eccitazione di una elettrovalvola a 24Vac che permette a dell'aria compressa di bloccare i maniglioni. La presenza di aria compressa nel circuito è quindi una condizione necessaria.

Queste due ultime condizioni di sicurezza impongono di realizzare una logica di controllo nella parte girevole della giostra. Inoltre si tratta di una logica che difficilmente si realizzerebbe solo con relè. Si sceglie quindi di installare un ulteriore plc nella parte girevole, e metterlo in comunicazione con il plc della parte fissa.

I sistemi di auto diagnostica

La giostra è una macchina relativamente complicata, ed i tempi di fermo macchina significano quasi sempre mancato guadagno per il cliente. Sono quindi implementati dei sistemi di auto diagnostica che monitorizzano le componenti più soggette a dare problemi e visualizzano un messaggio sul display nel pannello di controllo:

- le **protezioni termiche dei motori** (FR1...FR5) sono tutte dotate di contatto ausiliario. Ogni contatto viene letto dal plc. In caso di sovraccarico di uno o più dei 5 motori, il plc spegne l'inverter, blocca la giostra e visualizza un messaggio relativo ai motori che hanno subito il guasto
- ogni motore è dotato di una **protezione PTC** (detta anche "pastiglia termica", PT1...PT5 nello schema elettrico), che in sostanza è un termistore interno al motore che oltre la soglia di 140° commuta un contatto che viene letto nel plc. Anche in questo caso, il plc spegne l'inverter, blocca la giostra e visualizza un messaggio relativo al motore che si è surriscaldato
- ai freni elettromagnetici di ogni motore è collegato un **microinterruttore** (vedi foto) che verifica l'effettiva apertura del freno durante la corsa, è possibile infatti che uno dei 5 freni non si sganci e venga bruciato dalla trazione degli altri 4 motori, oppure che i freni si incollino dopo una frenata di emergenza. Il plc controlla l'effettiva apertura dei freni durante il movimento della giostra e in caso di mancata apertura spegne l'inverter, blocca la giostra e visualizza un messaggio indicando quali freni non sono funzionanti



Microinterruttore su freno motore

- **l'inverter** stesso ha una sua diagnostica. Il plc legge lo stato di una uscita dell'inverter programmata appositamente per visualizzare eventuali anomalie e segnala sul display nel pannello di controllo
- la **resistenza di frenatura** dell'inverter è essenziale per rallentare la giostra senza distruggere l'inverter. In caso di sovraccarico la sua protezione termica (FR6) viene letta dal plc che spegne l'inverter, blocca la giostra e segnala il problema sul display

La trasmissione dell'energia elettrica dalla parte fissa alla parte rotante della giostra

Occorre trasmettere dalla parte fissa alla parte girevole le seguenti linee elettriche:

1) una linea trifase per l'alimentazione dei motori elettrici, con una portata di circa 100A
2) una linea monofase a 220V per l'alimentazione dei freni dei motori elettrici
3) una linea monofase a 220V per l'alimentazione di elettrovalvole, luci, plc
4) una linea per la comunicazione tra i plc della parte fissa e quella girevole.

Inoltre, non è possibile installare un compressore nella parte girevole per problemi di spazio, quindi occorre montarlo sulla parte fissa e prevedere una linea pneumatica.

Si ricorre all'utilizzo di un collettore ad anelli con spazzole in metalcarbone. E' un componente da realizzarsi su misura con alta precisione, ricorriamo quindi ad una ditta esterna.

La realizzazione delle prime tre linee e della linea pneumatica sono “ordinaria amministrazione”, è più problematica la linea di comunicazione: occorre analizzare i protocolli di comunicazione a disposizione nei plc, la quantità di dati da trasmettere e quindi scegliere il mezzo trasmissivo più adatto. Nel caso di un collettore rotante, è possibile scegliere di utilizzare come mezzo trasmissivo comuni anelli metallici o dei collettori al mercurio. Il collettore al mercurio ha la caratteristica di essere garantito anche per reti Ethernet a 100 Mbit/sec, ma ha un costo non indifferente.

La scelta della rete di comunicazione:

I dati che il plc della parte girevole (PLC2) trasmette al plc della parte fissa (PLC1) sono:

1) 1 bit per ognuna delle cinque protezioni termiche dei motori (5 bit in totale)
2) 1 bit per ognuno dei cinque termistori dei motori (5 bit in totale)
3) 1 bit per ogni microinterruttore dei freni motori (5 bit in totale)
4) 1 bit per lo stato del pressostato che indica sufficiente presenza di aria compressa nella parte girevole
5) 1 bit per lo stato dei maniglioni

I dati che PLC2 legge da PLC1 sono:

1) 1 bit per il comando di accensione delle luci del centro girevole e dei bracci
2) 1 bit per il comando di accensione delle luci delle carrozze
3) 1 bit per il comando di chiusura del mantice
4) 1 bit per il comando di blocco dei maniglioni
5) 1 bit per ciascuna delle 5 lampade che segnalano visivamente su quale braccio s è verificato un eventuale problema (5 bit in totale)

Inoltre anche il display sul pannello di controllo (PVW) ha bisogno di leggere dati:

1) 20 bit dal PLC2, lo stato dei 20 maniglioni
2) Una stringa di testo a lunghezza variabile da PLC1, contenente un messaggio di stato da visualizzare all'operatore. Vengono implementate 30 stringhe, per valutare il caso peggiore usiamo la stringa più lunga che ha 80 caratteri ASCII, quindi 80x8bit=640bit
3) Un intero a 16 bit dal PLC1 con il numero di secondi mancanti alla fine del ciclo automatico
4) Un intero a 16 bit dal PLC1 con la velocità istantanea della giostra

Totali: PLC1 legge 17 bit da PLC2

PLC2 legge 9 bit da PLC1

PVW legge 20 bit da PLC2

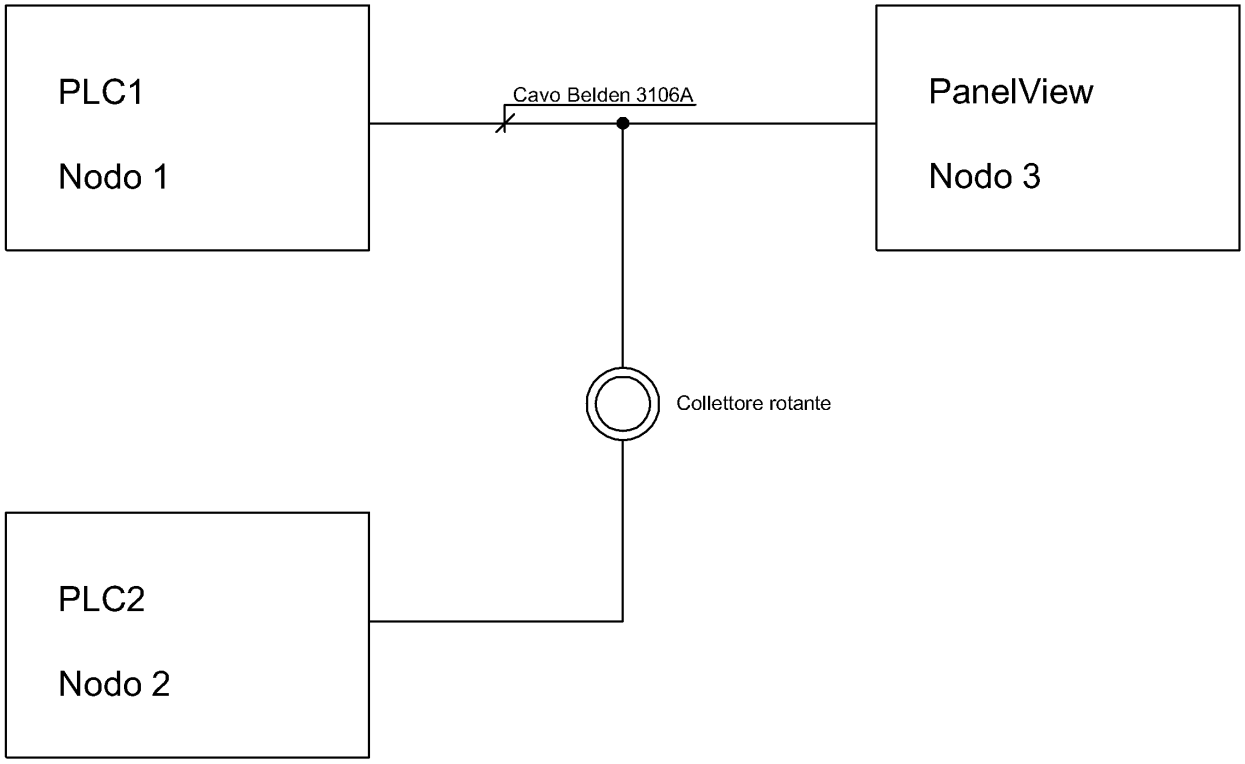
PVW legge 640 bit da PLC1

La rete di comunicazione deve quindi essere in grado di gestire 17+9+20+640=686 bit, più il protocollo di comunicazione.

I plc sono di marca Allen Bradley, tipo Micrologix 1100 e 1400. Vengono usati questi plc perché ormai in azienda c'è un ottimo know-how del prodotto, è però da notare che Allen Bradley spinge ad utilizzare dei protocolli di comunicazione proprietari. Nel nostro caso abbiamo a disposizione:

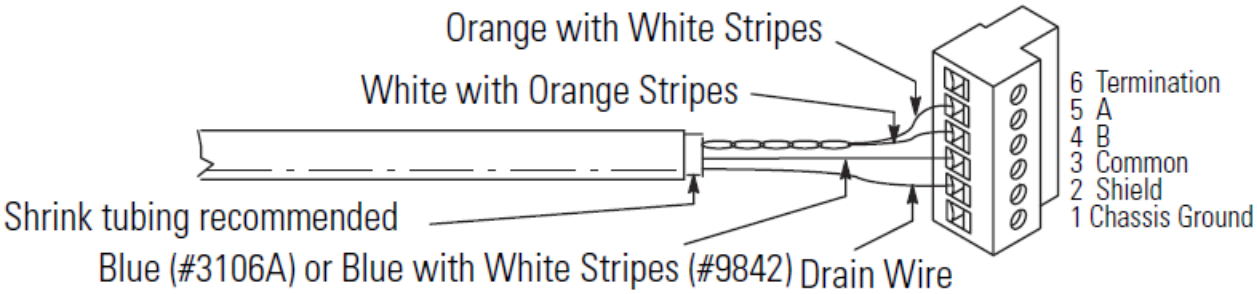
- Il protocollo seriale DF1, standard proprietario di Allen Bradley, non adatto nel nostro caso perché la topologia della rete prevede 3 nodi, mentre DF1 è un protocollo punto-punto.
- Il protocollo Ethernet/IP, che sta per "Ethernet Industrial Protocol", sempre di proprietà di Allen Bradley. Fisicamente richiede le stesse caratteristiche del protocollo Ethernet 802.3, ma l'organizzazione dei frame è differente.
- Il protocollo Modbus RTU, che è un protocollo pubblico diventato lo standard per la comunicazione industriale, ma di fatto, benché supportato, il suo utilizzo non è adeguatamente documentato nella manualistica dei plc Allen Bradley
- Il protocollo DH-485, che utilizza le specifiche elettriche di RS-485 e vi implementa un tipo di comunicazione token ring. La velocità massima della connessione è 19200 baud/sec. Questo protocollo è molto interessante perché è particolarmente "solido": i livelli logici vanno da +12 a -7 volt, mentre il baud rate è contenuto. Questo lo rende un protocollo meno sensibile degli altri ai disturbi. Mentre è sempre buona norma tenere fisicamente lontani i cavi di potenza dai cavi di comunicazione, nel collettore ad anelli si è obbligati a far correre assieme i fili. La rete DH-485 diventa quindi la scelta più affidabile. La documentazione del protocollo non indica le dimensioni dei frame di trasmissione, è comunque ragionevole supporre che una rete a 19200 baud/sec riesca a gestire tre nodi con un carico utile di 686bit. In realtà, non avendo a disposizione alcun dato tecnico sul protocollo, in quanto chiuso, ho creato in laboratorio una rete formata dai due plc ed il display ed ho analizzato le prestazioni della comunicazione caricando dei programmi che simulassero le operazioni della giostra, ottenendo sempre un round trip time minore di 50 millisecondi, che è più che sufficiente. Per la rete DH-485 è consigliato l'utilizzo di un cavo speciale, tipo Belden 3106, che è un doppio doppino schermato.

La topologia della rete che viene realizzata è la seguente:



Topologia della rete

La topologia della rete non si presta alla realizzazione di un token ring, viene infatti implementata una topologia a stella. All'atto pratico, per nodi posizionati a distanze di pochi metri l'uno dall'altro la rete DH-485 funziona perfettamente anche senza la creazione di un anello di unione dei nodi. E' necessario seguire le indicazioni di assemblaggio della rete fornite dal costruttore e, secondo la specifica RS-485, collegare nei nodi estremi della rete (in questo caso 1 e 3) il segnale A con una resistenza di terminazione.

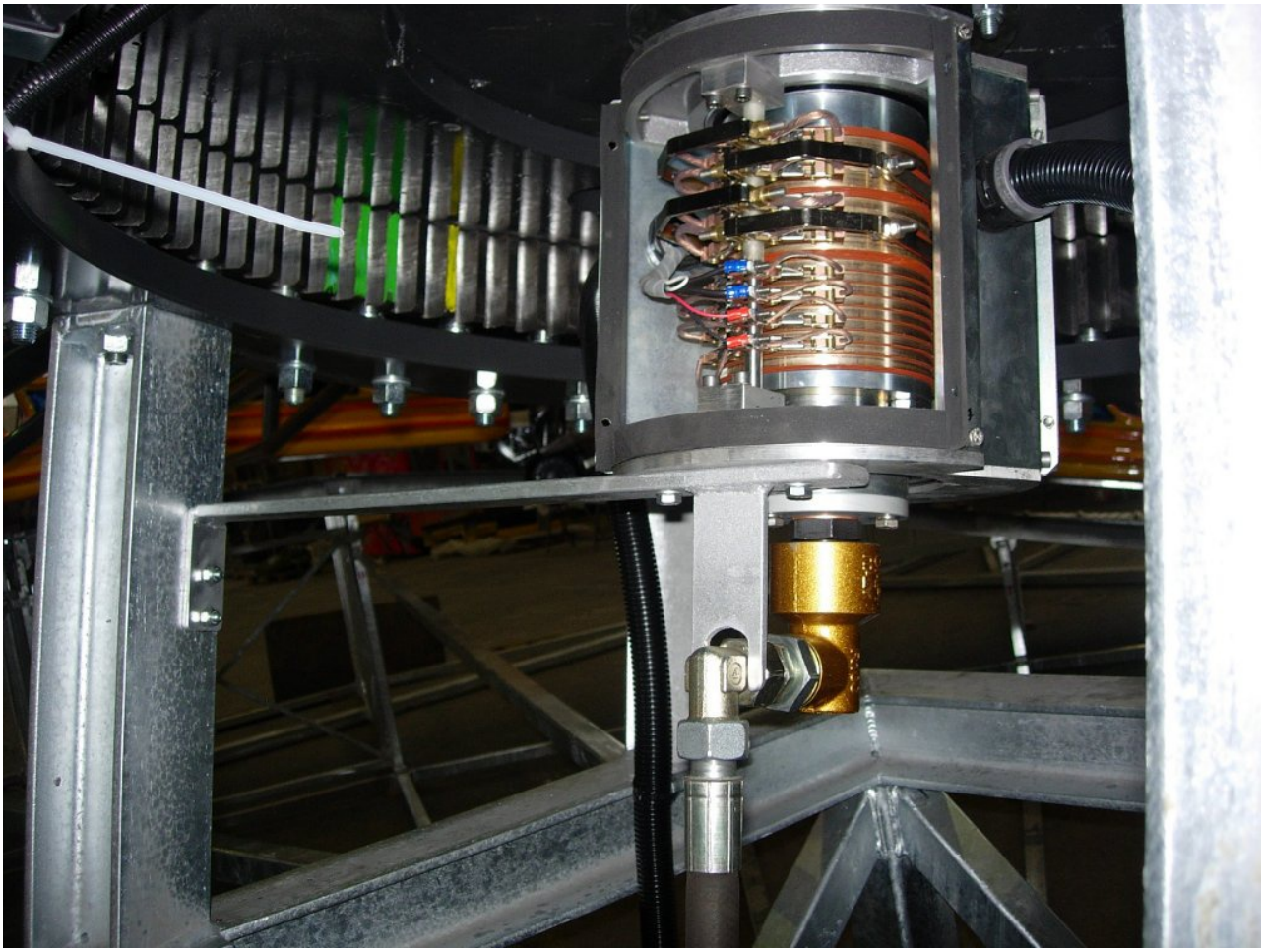


Risolto il problema del tipo di comunicazione di rete, è necessario che il collettore rotante sia costruito di conseguenza. Viene quindi scelto di produrre un collettore con la seguente configurazione:

Anello n°	Portata	Utilizzo
1	100A	Massa

2	100A	Fase 1 motori
3	100A	Fase 2 motori
4	100A	Fase 3 motori
5	25A	Fase freni motori
6	25A	Neutro freni motori
7	25A	Fase alimentazione luci e plc
8	25A	Neutro alimentazione luci e plc
9	25A	scorta
10	25A	Comune rete DH485
11	25A	Canale B rete DH485
12	25A	Canale A rete DH485
13	25A	Schermo rete DH485

Ecco quindi il collettore rotante, con in alto gli anelli di potenza, al centro gli anelli ausiliari, in basso gli anelli cablati con il cavo per la rete DH-485 e nel basamento il collettore pneumatico:



Il collettore ad anelli e spazzole

APPENDICE 1

Schema elettrico multifilare

APPENDICE 2

Sorgenti dei programmi del PLC1 e PLC2