

*“...per lo studio
e il perfezionamento
della tecnica
della costruzione
metallica...”*

C.T.A. COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO

Membro FAST - Federazione Associazioni Scientifiche e Tecniche
20121 MILANO - PIAZZALE R. MORANDI, 2 - Tel. 78.47.11

XIII CONGRESSO C.T.A.

27 - 28 - 29 - 30 ottobre 1991
ABANO TERME

GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

**La costruzione in acciaio italiana
ed il suo futuro europeo**

C.T.A. Collegio dei Tecnici dell'Acciaio

GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

ABANO TERME (PD) : 27 - 28 - 29 - 30 ottobre 1991

IL CARROVARO DEL VIADOTTO RESTELLO : l'importanza dell'acciaio nelle
costruzioni di ponti in cap di grande luce

ing. PIERANGELO PISTOLETTI

Il viadotto Restello ha una lunghezza complessiva di circa 2100 m, ed è costituito da due vie affiancate. Ciascuna via è formata da due cassoni in c.a.p. collegati a livello di soletta sull'intero sviluppo e tramite un traverso di connessione in corrispondenza delle pile.

Lo schema statico ipotizzato è di trave continua sull'intera lunghezza, con campata di luce variabile da 48, 60, 72, 80 e 100 m, così disposte in sequenza :

$48 + 72 + 100 + 2 \times 60 + 80 + 3 \times 100 + 80 + 18 \times 60 + 100 + 2 \times 60$ m

Lo sviluppo planimetrico prevede tratti rettilinei, tratti in clotoide e tratti in curva, con curvatura contrapposta, di raggio 800 e 900 m.

La realizzazione del manufatto è stata concepita mediante la posa in opera di conci prefabbricati di considerevoli dimensioni, ottenuti prevedendo la seguente suddivisione di ciascuna campata in conci di lunghezza variabile da 12 a 60 m.

A posa in opera eseguita viene realizzata la saldatura dei singoli conci mediante la tesatura dei cavi da precompressione previsti a progetto. Per ovvie esigenze costruttive ciascuna via è suddivisa in due, in senso

due cassoni viene eseguita successivamente alla posa in opera dei singoli conci.

La realizzazione del manufatto in precedenza descritto viene effettuata con l'impiego di una idonea attrezzatura di varo, opportunamente concepita per un duplice scopo :

- la realizzazione contemporanea delle due vie, mediante la posa dei quattro conci in cui si è suddiviso trasversalmente l'impalcato.
- Il trasporto del cantiere di prefabbricazione, concepito itinerante lungo il manufatto.

DESCRIZIONE SINTETICA DELL' ATTREZZATURA DI VARO

L' attrezzatura di varo realizzata consiste essenzialmente negli elementi seguenti :

- Due travi principali affiancate di 162 m di lunghezza che costituiscono la struttura portante.
- Due testate di collegamento, una anteriore ed una posteriore, con compiti di irrigidimento e controventatura.
- Attrezzature d'ausilio alla movimentazione e costituite da :
 - Una gamba pendolare anteriore idonea per appoggio in pila e sul manufatto già realizzato.
 - Una gamba pendolare posteriore di appoggio sul manufatto.
 - Una gamba mobile supplementare di appoggio sul manufatto e dotato di rulliere di scorrimento longitudinale.
 - Una traversa anteriore per scorrimento sia longitudinale che trasversale, idonea per appoggio in pila e sul manufatto.
 - Una traversa posteriore per scorrimento sia longitudinale che trasversale idonea per appoggio sul manufatto.
 - Due carriponte di sollevamento scorrevoli sull'estradosso delle travi principali.
 - Rulliere di scorrimento sia longitudinale che trasversale, per le travi principali.

- Un carroponete di servizio scorrevole a livello inferiore delle travi principali.

Le travi principali sono realizzate a traliccio con sezione retta triangolare, di circa 8 m di altezza e circa 3 m di larghezza di base. La briglia superiore è a cassonetto torsiorigido con all'estradosso la rotaia di scorrimento per il carroponete di sollevamento. Le briglie inferiori sono travi a doppio T composte saldate, unite in officina di prefabbricazione a formare un unico cassone torsiorigido mediante opportuni controventi superiori e inferiori e diaframmi verticali, intermedi, formati da tralici interamente saldati alle briglie principali.

All'intradosso di quest'ultima sono predisposte le rotaie di scorrimento delle travi stesse.

Le briglie per ovvi motivi di movimentazione e trasporto, sono suddivise in conci di 16,2 e collegate in opera mediante giunti bullonati ad attrito.

Le diagonali sono a doppio T laminate, e vengono collegate in anima, mediante giunti bullonati ad attrito, ai nodi riceventi, opportunamente saldati alle briglie inferiori e superiori.

La traversa di scorrimento anteriore è costituita da un cassone rettangolare di circa 41 m di ingombro complessivo trasversale. È realizzato con le quattro pareti ad anima piena e dotato di opportune traverse di appoggio, due interne per appoggio su manufatto e due esterne, brandeggianti, per appoggio in pila, ciascuna con martinetti di posizionamento in quota. Il cassone è suddiviso in cinque conci con giunti in opera mediante bulloni ad attrito.

La traversa di scorrimento posteriore è costituita da un cassone rettangolare realizzato con travi principali ad anima piena, mentre le pareti orizzontali e i diaframmi verticali sono a traliccio bullonato. L'ingombro complessivo trasversale è di circa 42 m, suddiviso in cinque conci con giunti in opera mediante bulloni ad attrito. È anch'esso dotato di quattro traverse di appoggio con martinetti idraulici. Le testate di estremità costituiscono un solido collegamento tra le due travi principali sia in senso verticale sia in senso orizzontale, mediante due opportuni controventi a traliccio.

SCHEMA DI FUNZIONAMENTO

Il carrovaro, l'attrezzatura di cui sopra, è stato progettato con l'obiettivo di rispondere alle esigenze di prefabbricazione e posa in opera salvaguardando le necessità del manufatto sottostante.

I Piedi di appoggio sono quindi stati studiati per scaricare le reazioni direttamente sulle anime dei singoli cassoni, senza creare particolari accumuli di tensione in soletta. Le disposizioni degli appoggi in senso longitudinale hanno infine dovuto tener conto delle esigenze statiche del manufatto in c.ap., per non indurre in fase di realizzazione regimi tensionali non sostenibili dalle sezioni dimensionate per i carichi di normale esercizio.

Ne sono scaturite quindi delle opportune "cinematiche", che sintetizzano il funzionamento dell'attrezzatura e che hanno costituito base di studio per il dimensionamento dell'attrezzatura stessa.

L'esercizio del carrovaro si esplica infatti con la presa del manufatto del cassero di getto ed il trasporto fino al punto di posa. L'ottimizzazione dei pesi strutturali e delle reazioni sul manufatto ha richiesto che la semplice movimentazione del pezzo venisse intervallata da movimentazioni del carro stesso. Il complesso di tutte queste operazioni, concettualmente simile operativamente diverso per la realizzazione delle diverse luci e dell'autovaro, sono state sintetizzate in tre distinte "procedure operative", le cinematiche appunto, base oltre che del calcolo strutturale anche del vero e proprio esercizio e impianto

CARICHI DI PROGETTO

Peso proprio strutturale

Travata principale	: 720 t	(complessivo)
Testata posteriore	: 40 t	
Testata anteriore	: 45 t	(8+8 ruote intern. 1 m)
Argano anteriore	: 91 t	" "
Argano posteriore	: 85 t	
Gambe mobili	: 30 t	
Binario posteriore	: 150 t	
Binario anteriore	: <u>250 t</u>	

Pezzi sollevati

1) Campata da 60 m :	P = 764 t
2) Campata da 100 m : testa pila da 40 m	P = 764 t
3) Campata da 100 m : concio int. da 60 m	P = 696 t
4) Campata da 80 m : testa pila da 24 m	P = 406 t
5) Campata da 72 m : concio int. da 48 m	P = 548 t
6) Campata da 72 m : concio int. da 40 m	P = 480 t
7) Campata da 60 m : concio da 52 m	P = 685 t
8) Campata da 60 m : concio int. da 28 m	P = 361 t

Vento

Si sono distinte tre fasi, attribuendo a ciascuna, in funzione della durata dell'operazione e quindi della probabilità dell'evento, un valore max di vento accettabile.

Fuori servizio : Vento secondo normativa

zona 2: 80 Kg/m^2 , corrispondenti ad un vento di $\approx 130 \text{ Km/h}$.

In questa fase l'attrezzatura non opera ed è debitamente ancorata.

In esercizio : Posa dei conci e manovre dell'attrezzatura. In questa fase è consentito l'utilizzo dell'attrezzatura senza ancoraggi supplementari fino ad un vento max di circa 72 Km/h pari a circa 25 Kg/m^2 .

Autovaro : Questa fase per l'eccezionalità dell'impegno e per il tempo di esercizio comunque limitato si prevede con un vento max di circa 40 Km/h pari a circa $7,7 \text{ Kg/m}^2$. E' comunque prevista la possibilità di presenza di vento fino a 70 Km/h come situazione del tutto eccezionale (ipotesi III^A $\mu = 1,2$).

SISMA

(ipotesi III^A $\mu = 1,2$)

Grado di sismicità : $S = 9$

Coefficiente sismico : $c = 0,07$

Peso proprio singola trave : 360 t pari a $\approx 2,22 \text{ t/m}$

Carico sismico equivalente : $\pm 2,22 \times 0,07 = \pm 0,155 \text{ t/m}$

MATERIALI IMPIEGATI

Elementi principali : Fe 510 UNI 7070/82

Elementi secondari : Fe 360 " " "

Bulloni AR 10.9 ad attrito :

I giunti di briglia e diagonale sono stati realizzati considerando bulloni ad attrito per problemi di stabilità di forma.

Le superfici interessate sono state sabbrate in officina e quindi protette da una mano di ZINCOAT in modo da poter garantire un coefficiente di attrito pari a $\mu = 0,45$.

Dato il diverso contributo alla stabilità di forma si è ritenuto però necessario una maggiore cautela dei giunti di briglia piuttosto che di diagonale, differenziando il coefficiente di attrito assunto a base di calcolo.

Collegamento di briglia : $\mu = 0,35$

Collegamento di diagonale : $\mu = 0,45$

CRITERI DI ANALISI

Come già detto la travata principale è stata studiata nell'esercizio delle cinematiche da 60 e 100 m e dell'autovaro su luci da 100 m. Le cinematiche suddette, abbastanza articolate, hanno dato origine a numerose situazioni di carico, diverse per posizionamento dei carichi e degli appoggi.

La necessità di ridurre al massimo i pesi strutturali ha contribuito non poco a soffiare sul fuoco della complessità, imponendo lo studio di molteplici situazioni quantomeno riconducibili a casi meno numerosi con una maggiore libertà di unificazione.

Fortuna vuole che in simili frangenti si possa trovare una mano amica nel computer che, attraverso programmi di analisi strutturale generale, tipo SAP, integrati opportunamente da post-processor (MEMOSAP) e procedure automatiche costruite ad hoc fornisce un aiuto assolutamente determinante nella capacità di analisi nel comportamento strutturale. Aiuto altrettanto sensibile mediante l'utilizzo di programmi CAD, con i quali si è notata

varie fasi di movimentazioni, di grande aiuto nell'interpretazione di risultati statici, nonché studi di interazione struttura-ponte, di ben più complessa realizzabilità in modo tradizionale.

L'analisi strutturale è stata pertanto condotta per un solo traliccio principale, introdotto con la reale geometria spaziale. Lo schema statico considerato risulta variabile con le cinematiche, passando di volta in volta da trave continua con quattro appoggi a trave semplice su due appoggi con sbalzi su entrambi i fronti.

I collegamenti di estremità sono stati considerati ai fini della rigidità complessiva realizzandoli in modo da tenere unite le due travi ed impedendone eventuali spostamenti relativi.

I carichi esterni sono stati ricondotti a carichi discreti agenti sui nodi o sulle aste del modello strutturale.

Per quanto riguarda il carico dei conci sono state predisposte, a livello di briglia superiore, opportune stese di carico riproducenti le reali situazioni, 8 ruote passo 1 m, con carichi determinati dai vari conci movimentati. Ciascuna situazione studiata ha dato origine ad una condizione di carico.

Il peso proprio ed il vento per semplicità sono stati introdotti come carichi discreti applicati nei nodi principali di struttura, ovvero i nodi di convergenza delle diagonali principali.

Una forzata semplificazione è stata introdotta a livello di briglia inferiore dove, per necessità di contenimento del modello entro dimensioni operativamente utili, gli appoggi sono stati considerati come singoli nodi, anziché articolati nei reali schemi di appoggio, 8 ruote passo 60 cm.

Non è infatti concesso di assegnare vincoli esterni in punti diversi dai nodi del modello e si sarebbe quindi dovuto triplicare il numero dei nodi, passo 60 cm anziché 180, per poter effettivamente considerare appoggi su rulliera.

Si è comunque ottemperato all'inconveniente mediante un'opportuna procedura di calcolo, studiando la briglia stessa come trave a sè stante continua su n. appoggi e soggetta ad un treno di carico emulante la rulliera di appoggio e seconda condizione, ad un carico mobile emulante l'appoggio puntiforme ipotizzato. Dal confronto delle due ipotesi si ottenevano i valori correttivi dei momenti flettenti locali.

Le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte sostanzialmente in due fasi e precisamente :

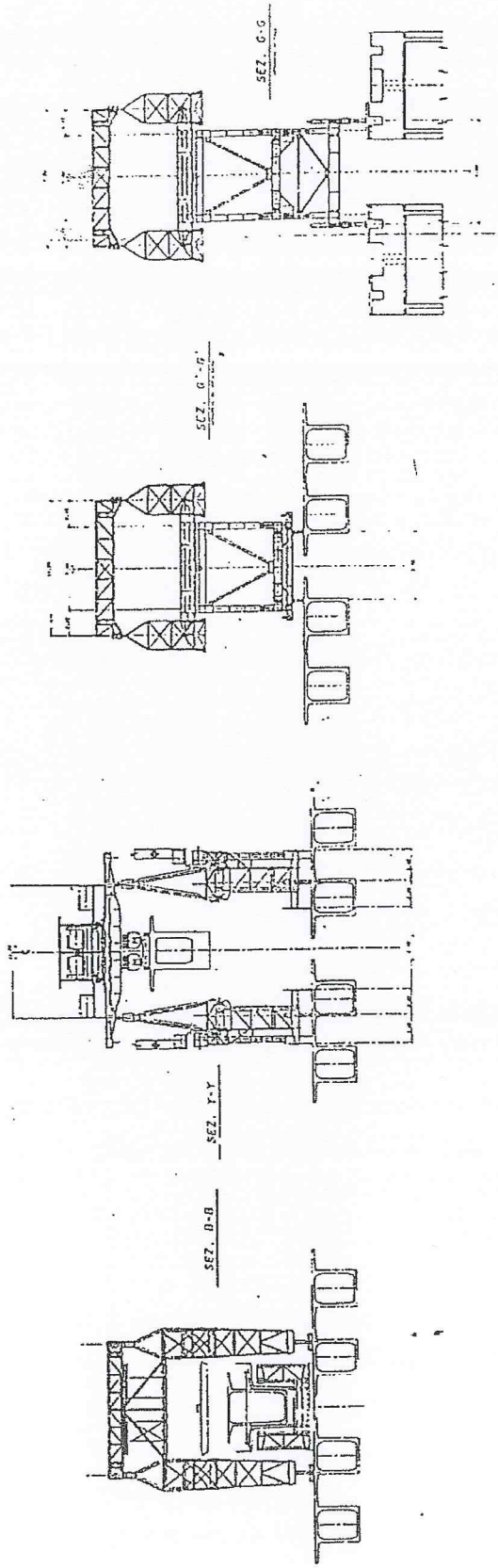
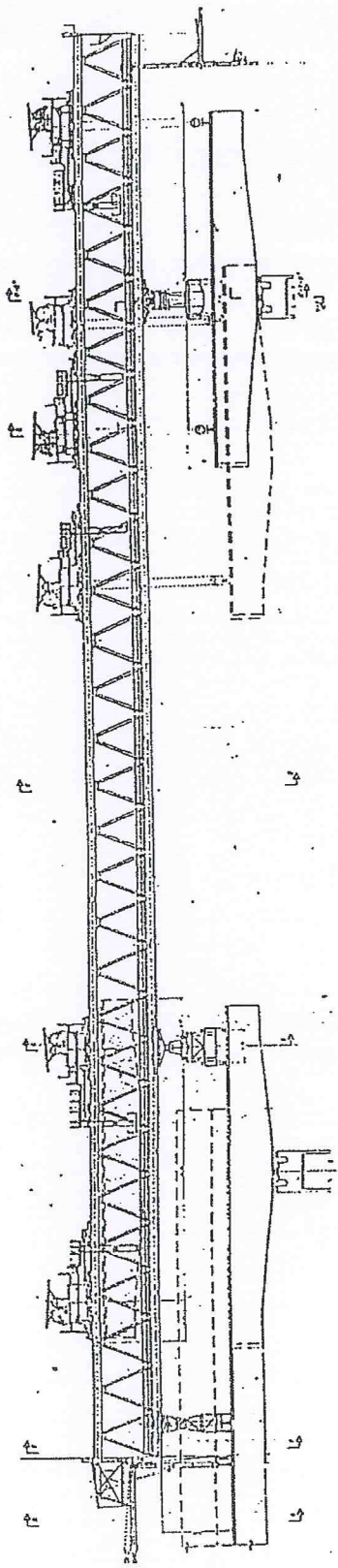
singole aste. Lo studio è stato condotto in automatico utilizzando un post processor opportunamente predisposto, MEMOSAP. Questo ha in memoria le caratteristiche di ogni asta :

- Area - Lunghezza - Inerzia - W_x sup e W_x inf - W_y sup e
- W_y inf - $\bar{\Omega}$

e con un procedimento di iterazione seleziona tutti i files studiati determinando le σ max e σ min per ogni asta. Come risultato si ha un tabulato contenente per ogni singola asta :

- nome dell'asta (numero) e caratteristiche statiche
- σ max e σ min
- numero del file di max o min
- numero della c.d.c. nel file di max o min
- singoli valori di N, M_x , M_y , T_x , T_y .
- Completamento delle verifiche, riportando, per gli elementi più significativi, le seguenti verifiche aggiuntive :
- Effetti locali dovuti al transito degli organi ed allo spostamento degli appoggi e determinazione delle conseguenti σ Id.
- Verifica delle stabilità delle anime.
- Verifica dei giunti.
- Verifiche alle saldature di composizione.

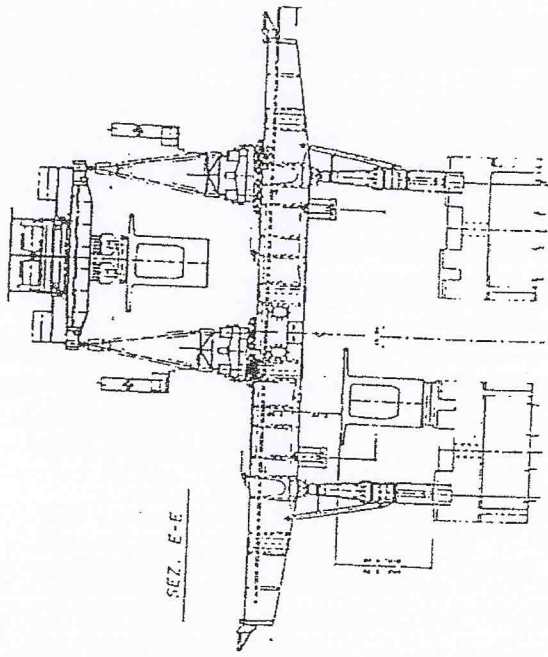
- Committente	: GI.CO. Costruzioni S.p.A.	Roma
- Ingegneria generale	: Giovanni Cozzani	- GI.CO
	Gianfranco Gelmini	- professionista
	Pierangelo Pistoletti	- "
	Alberto Ranzini	- "
	Pietro Guzzetti	- "
- Ingegneria strutturale:	Gianfranco Gelmini	
	Pietro Guzzetti	
	Pierangelo Pistoletti	
- Implantistica	: Ello Guerini	
	Celestino Menghini	
	Antonio Antonioli	
Fabbricazione strutture	: Cordioli & C. S.p.A.	Valeggio S.M.
Fabbricazione arconi	: Macdit S.P.A.	Lecco



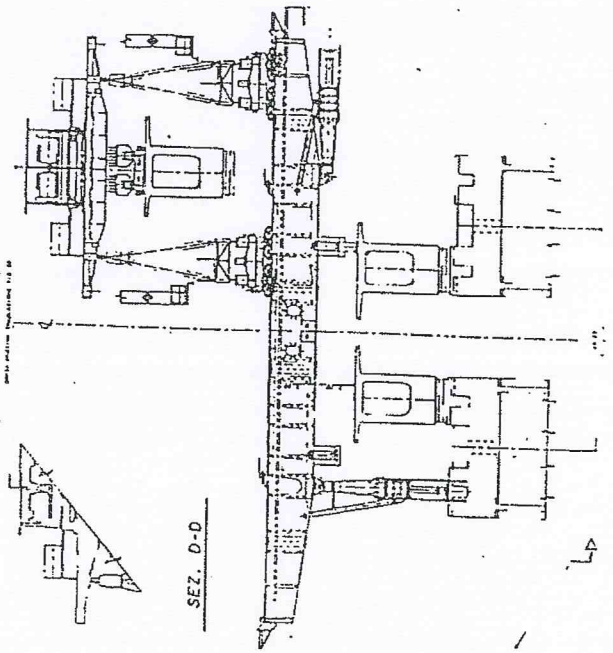
- APPOGGIO POSTERIORE

- APPOGGIO MOBILE

- APPOGGIO ANTERIORE

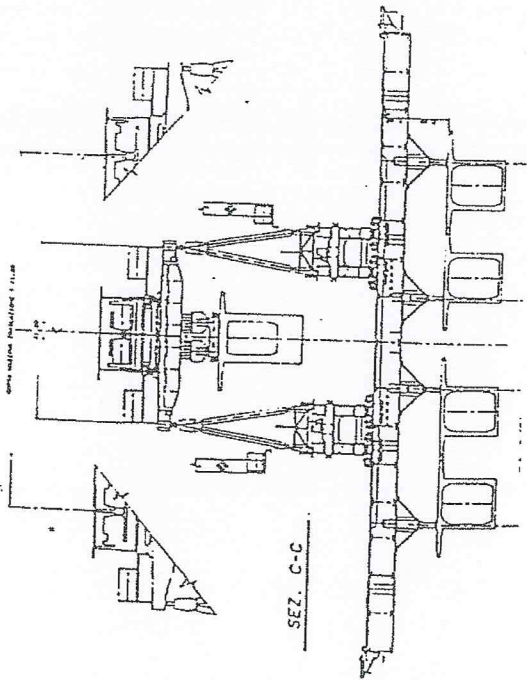


SEZ. E-E



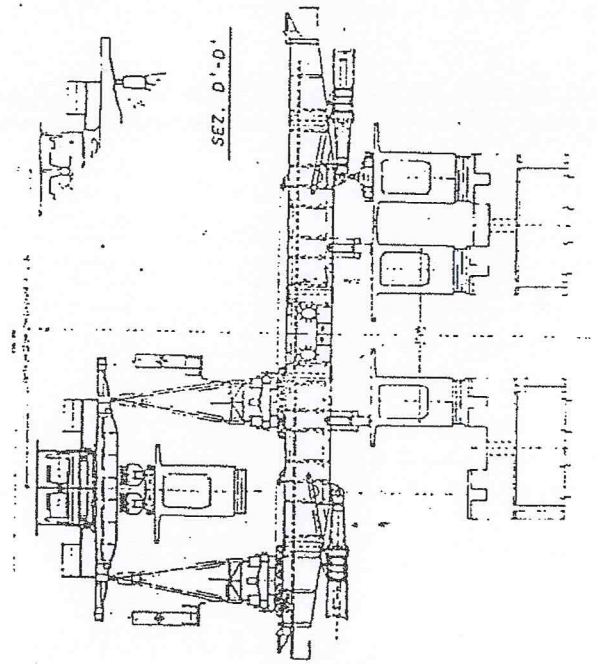
SEZ. D-D

- BINARIO ANTERIORE



SEZ. C-C

- BINARIO POSTERIORE



SEZ. D'-D''

