

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-86/47(NT)
16 Ottobre 1986

B. Dulach e F. Straffi:
**MAGNETE ICARUS: DESCRIZIONE TECNICA DELLA SOLUZIONE
CON SETTORI LAMINATI**

MAGNETE ICARUS: DESCRIZIONE TECNICA DELLA SOLUZIONE CON SETTORI LAMINATI

B. Dulach

INFN - Laboratori Nazionali di Frascati, Casella Postale 13, 00044 Frascati (Italia)

F. Straffi

Ansaldo Ricerche - Genova (Italia)

1. - PREMESSA

- Solenoide progetto ICARUS.
- G.d.L. INFN/ANSALDO RICERCHE.
- Studio e analisi di fattibilità.
- Attività AR di preprogetto.
- Documento descrittivo conclusivo dell'attività svolta.
- Punto della situazione.
- Elenco dei problemi aperti.
- Attività da sviluppare.

2. - CONCEZIONE DI BASE

- Riferimento documento C. Rubbia (1,2).
- Scheda dati di base.
- Solenoide ad asse orizzontale.
- Elicotide continuo (Fig. 1).
- Sciabola con giunti bullonati d'estremità.
- Struttura monolitica del solenoide a mezzo giunzione distribuita continua delle sciabole.
- Sella continua avvolgente ad ampio sviluppo angolare.
- Refrigerazione spire:
 - . spire in serie dal punto di vista elettrico
 - . spire in parallelo dal punto di vista idraulico.
- Refrigerazione sciabole con doppio tubo refrigerante, uno sull'intradosso e uno sull'estradosso.

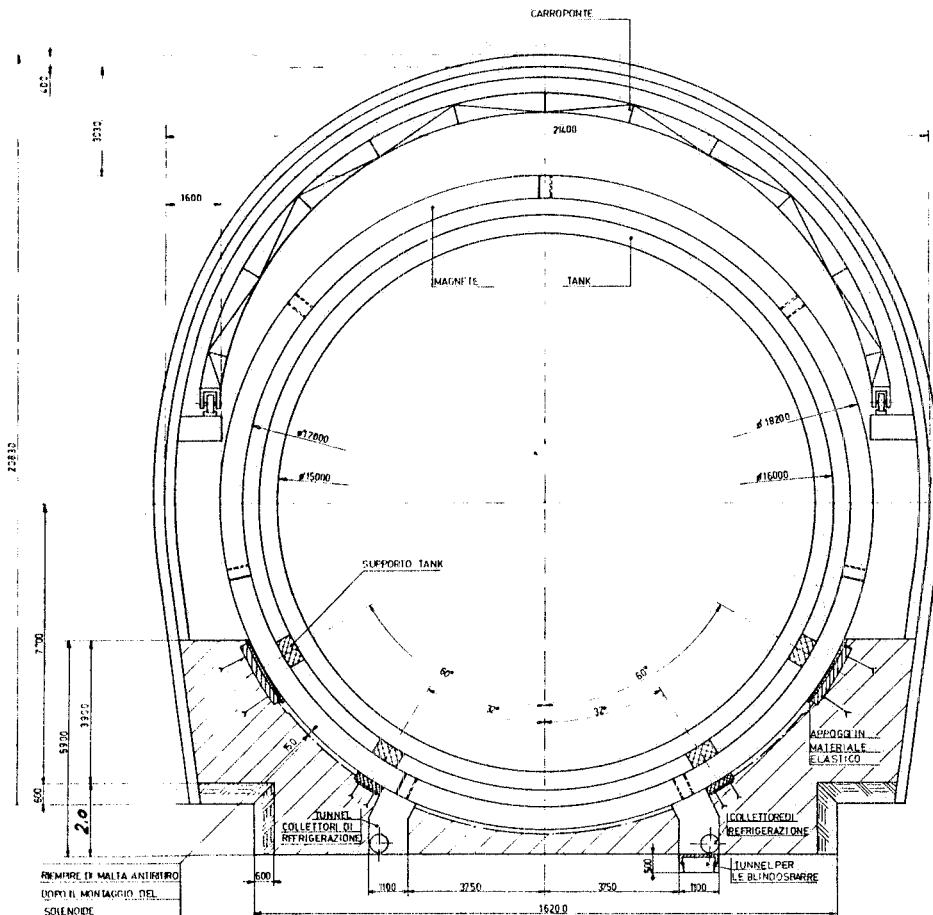
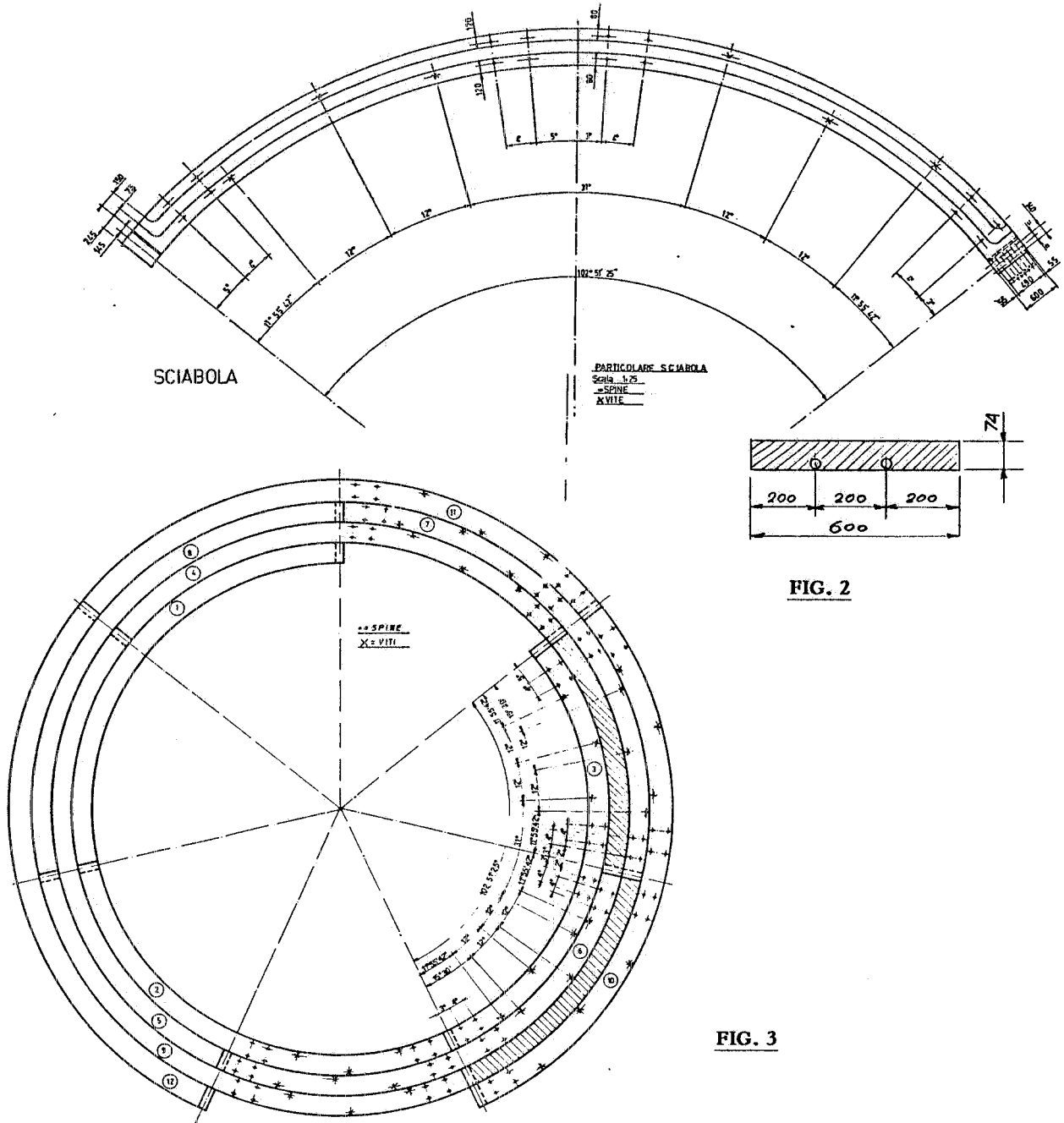


FIG. 1

3. - DESCRIZIONE TECNICA

3.1. - Sciabola (Fig. 2)

- Soluzione dispari a coprigiunto
- . tipico n. 7 sciabole/2 angoli giro
- . sviluppo angolare $4/7\pi$ (*) (Fig. 3).



(*) Sciabola lunga. In alternativa sciabola corta con sviluppo $4/9\pi$ (n. 9 pezzi/2 angoli giro).

- Due fazzoletti di estremità intestati a metà spessore con opportuno raccordo per ridurre il fattore d'intaglio (Fig. 4).
- Refrigerazione simmetrica sulla sezione realizzata con due tubi refrigeranti incorporati rispettivamente sull'intradosso e sull'estradosso della sciabola (Fig. 5).
- Attacchi tubi refrigeranti riportati sull'estradosso della sciabola (terminali attacchi in materiale isolante).

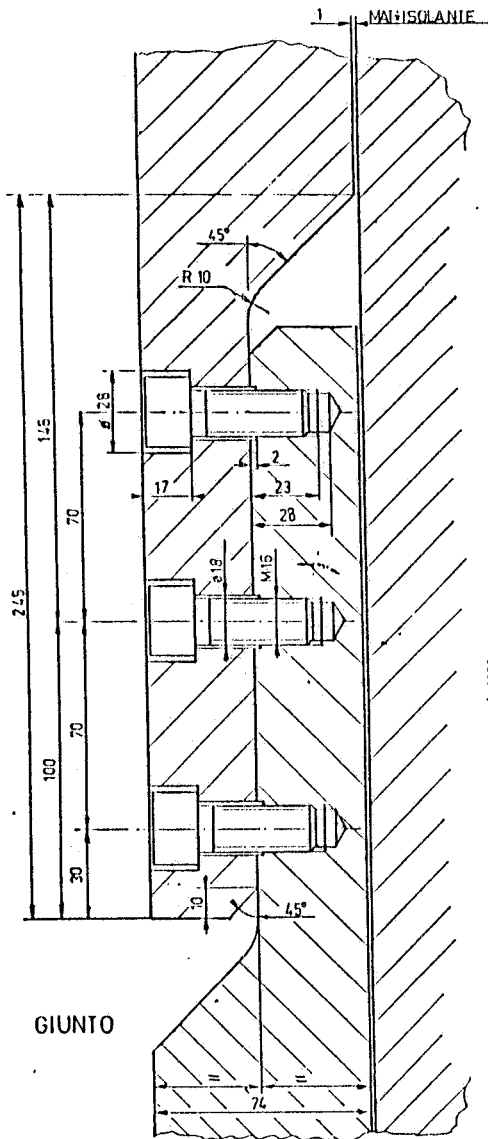


FIG. 4

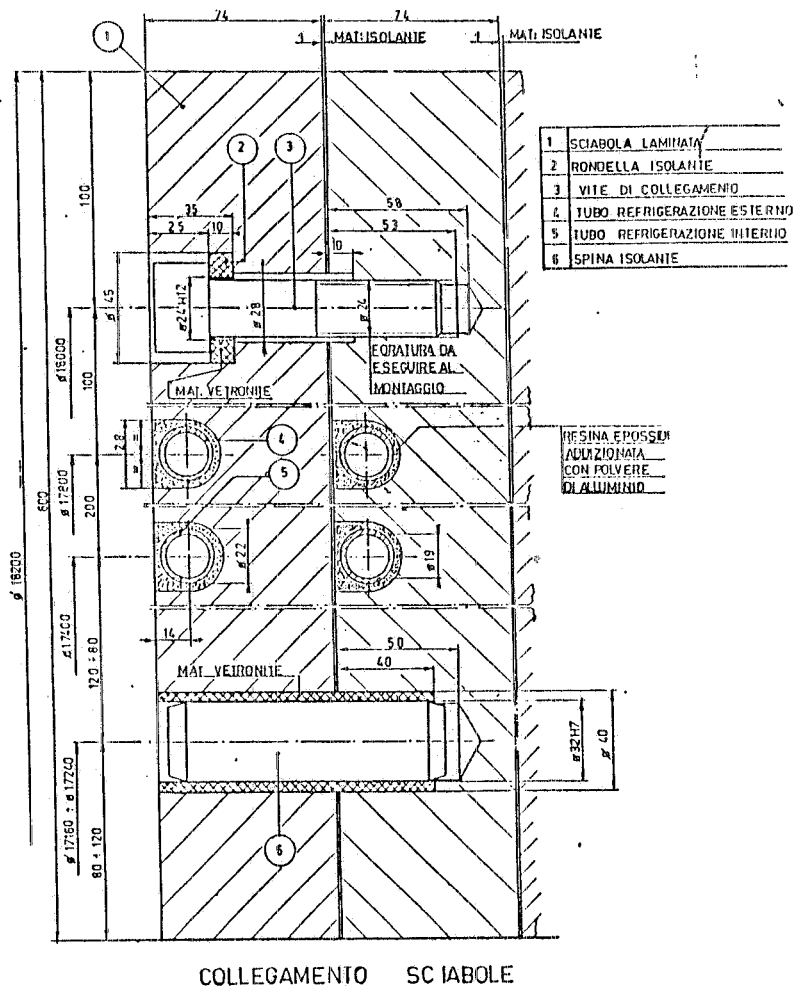
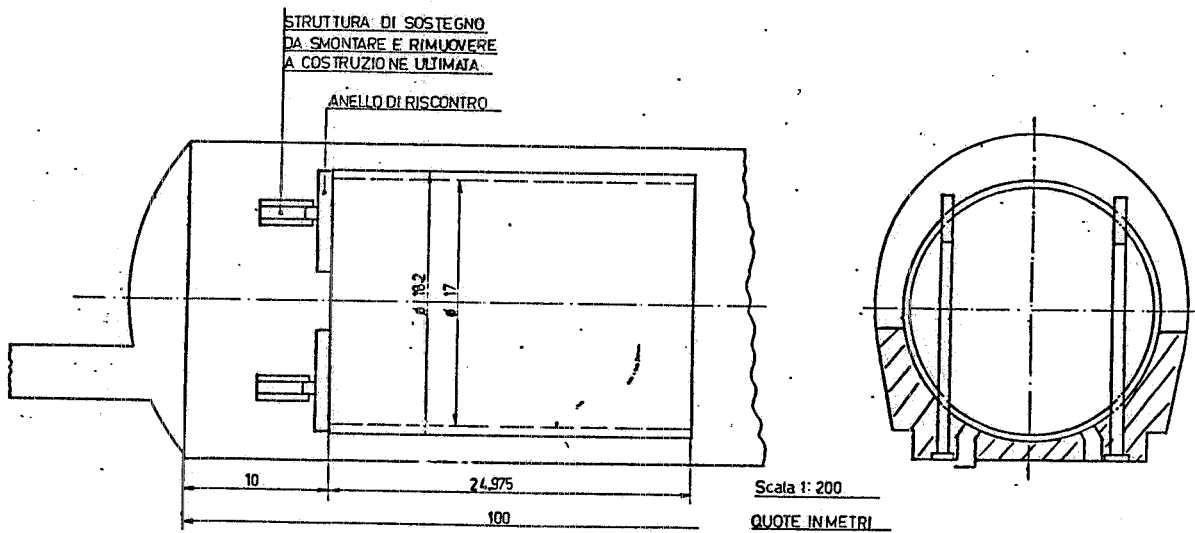


FIG. 5

3.2. - Montaggio solenoide (Figg. 6 e 7)

- Costruzione fondazioni ed ancoraggio alle stesse di due/quattro supporti simmetrici continui regolabili.
- Ancoraggio alle fondazioni della base della struttura di carpenteria di sostegno.
- Montaggio struttura carpenteria sostegno "anello di riscontro" (struttura smontabile in pezzi).
- Montaggio "anello di riscontro".
- Impostazione e montaggio delle sciabole di partenza sull'anello di riscontro (sciabole speciali).
- Montaggio elicoidale progressivo delle sciabole standard.
- Giunzione per avvitatura (reticolo viti e passo quadro) dei fazzoletti d'estremità. Aspetto "funzionale" del solenoide.
- Giunzione distribuita continua delle sciabole con opportuna combinazione "spine/viti". Aspetto "strutturale" del solenoide.
- Gettata finale con malta antiritiro. La sella si autoadatta al profilo del solenoide.
- Smontaggio struttura carpenteria. Sostegno "anello di riscontro".



POSIZIONE MAGNETE GALLERIA

FIG. 6

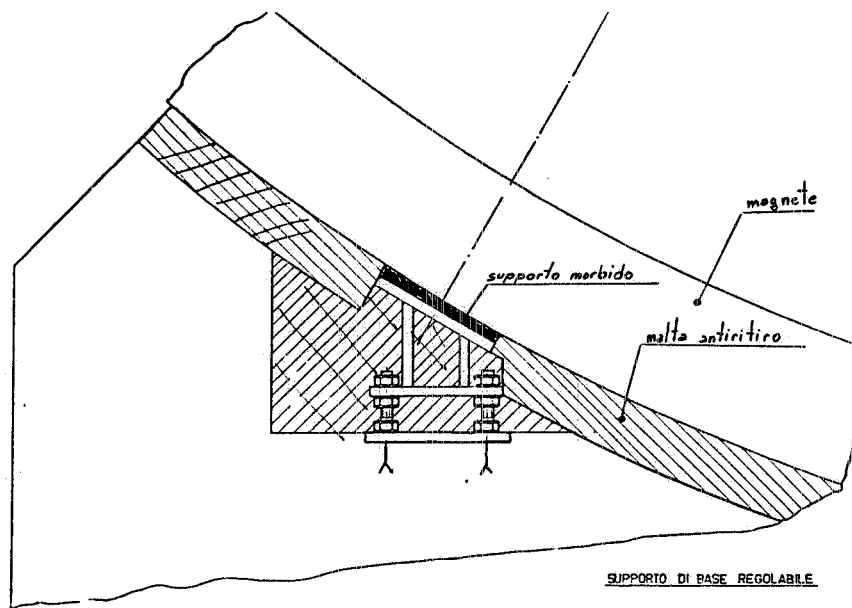


FIG. 7

3.3. - Elementi di collegamento

Gli elementi di collegamento sono stati tipizzati su tre standards:

- Viti di collegamento.

Si tratta di una coppia "vite/rondella isolante". Le viti sono distribuite lungo la sciabola e servono a spingere a battuta la sciabola stessa sulle due sciabole a monte.

- Spine portanti.

Si tratta di spine isolate con anima portante metallica. Tali spine sono opportunamente distribuite lungo la sciabola e realizzano il collegamento strutturale tra le sciabole adiacenti assialmente. Viene così ottenuta la monoliticità della struttura.

- Viti giunzione fazzoletti.

Si tratta di viti metalliche disposte su passo quadrato stretto in modo da assicurare una pressione specifica uniforme sull'accoppiamento d'estremità.

4. - PROBLEMI FUNZIONALI

Scopo prioritario del progetto è stato quello di individuare una serie di soluzioni tecniche che permettano di separare nettamente i problemi funzionali del solenoide da quelli strutturali.

I fazzoletti d'estremità non hanno ruolo strutturale, pertanto sono equipaggiati solo con viti (nessuna spina).

I fazzoletti d'estremità hanno una forma rettangolare con lato minore in senso circonferenziale al fine di ridurre l'effetto "punto caldo". Schema di base:

$$t \times \frac{t}{2} \times \frac{S}{2}$$

t = spessore radiale

t/2 = spessore circonferenziale

S/2 = spessore assiale.

Ogni fazzoletto è refrigerato sulla sua fiancata a pieno spessore dal tubo refrigerante posizionato sull'intradosso della sciabola.

La giunzione elettrica dei fazzoletti d'estremità è ottenuta tramite una serie di viti montate su passo quadrato stretto.

Es.: 3 x 8 = 24 viti su passo 70 x 70 mm.

Per migliorare il contatto elettrico (1.500 ÷ 2.000 giunzioni su tutto il solenoide) si può prevedere l'eventuale interposizione di un foglio di alluminio puro (Al 99,5) e ricotto tra ogni coppia di fazzoletti.

Altri mezzi di riduzione della resistenza elettrica di contatto possono esser presi in considerazione (ramatura o altri riporti teneri sulla superficie, etc.).

5. - PROBLEMI STRUTTURALI

I problemi strutturali possono essere ricondotti a due classi distinte:

- carichi in piano (sul piano della spira);
- carichi fuori piano (secondo l'asse del solenoide).

Per lo studio strutturale del solenoide sono determinanti i carichi "in piano". Tali carichi sono dovuti a:

- peso proprio del solenoide;
- sisma orizzontale e sisma verticale.

Il parametro che determina i carichi strutturali, sia dovuti a peso proprio che a sisma, è:

M (t m/m) momento flettente distribuito

Non determinante risulta invece:

T (t/m) spinta circonferenziale distribuita

Le sollecitazioni unitarie membranali che derivano dalla spinta "T" sono in genere trascurabili in quanto risultano pari a circa il 5% ± 10% delle sollecitazioni unitarie flessionali derivanti dal momento "M" (appendice 3).

Per quanto riguarda il peso proprio è stata effettuata un'analisi parametrica completa del tipo d'interfaccia solenoide/fondazioni prendendo in esame:

- solenoide su due/quattro appoggi
- solenoide su sella continua
- solenoide su base incastrata
- sviluppo angolare del vincolo $\alpha = 30^\circ \pm 180^\circ$.

L'analisi parametrica di cui sopra ha mostrato che il momento flettente "M" dipende in modo molto marcato dal tipo di vincolo alle fondazioni:

$$M = 10 \pm 100 \text{ t m/m}$$

con un fattore di abbattimento delle sollecitazioni pari ad un ordine di grandezza passando da $\alpha = 30^\circ$ (due appoggi) ad $\alpha = 180^\circ$ (sella continua o base incastrata) (appendice 2).

L'indirizzo attuale è quello di scegliere un angolo di sella $\alpha = 120^\circ \pm 150^\circ$ come compromesso tra le opposte esigenze di contenere i carichi strutturali e di contenere i costi di investimento.

Per un angolo $\alpha = 120^\circ \pm 150^\circ$ si ottiene un momento flettente $M = 20 \pm 30 \text{ t m/m}$, sia per la soluzione sella continua che per la soluzione base incastrata.

Per quanto riguarda il sisma, le considerazioni sono del tutto analoghe, ma con una esigenza più marcata di angoli di sella elevati.

Per un angolo di sella $\alpha = 150^\circ$ il carico sismico (valutato per una accelerazione $a = 0,14 \text{ g}$) porta ad un momento flettente $M = 20 \pm 30 \text{ t m/m}$, del tutto analogo a quello dovuto al peso proprio.

6. - REFRIGERAZIONE SOLENOIDE

IL solenoide viene refrigerato con acqua demineralizzata in ciclo chiuso, mentre l'acqua demineralizzata viene raffreddata con acqua sorgiva di roccia in ciclo aperto (appendice 1).

All'interfaccia tra i due cicli è prevista una batteria di scambiatori di refrigerazio-

ne secondo il concetto 2 + 1 (due operativi e 1 in manutenzione per pulizia causa incrostazioni lato acqua di roccia). L'acqua sorgiva di roccia è a perdere.

Il ciclo chiuso è alimentato con acqua demineralizzata e consiste essenzialmente in:

- serbatoio di stoccaggio
- gruppo di pompaggio
- collettore di mandata
- collettore di ritorno.

I collettori di mandata e di ritorno sono alloggiati in due tunnel ricavati nelle fondazioni del solenoide.

L'ipotesi di base è quella di disporre di acqua di raffreddamento alle seguenti condizioni:

- portata 150 litri/sec
- temperatura mandata 10°C

In tali condizioni si ottiene:

- temperatura del solenoide 30 ± 40°C
- temperatura delle fondazioni 5°C
- salto di temperatura fondaz./solenoide 30°C

Una soluzione alternativa (solenoide freddo) prevede invece di poter disporre di acqua di raffreddamento in condizioni più favorevoli:

- portata 250 litri/sec
- temperatura mandata 6°C

In tali condizioni si ottiene:

- temperatura del solenoide 20 ± 25°C
- temperatura delle fondazioni 5°C
- salto di temperatura fondaz./solenoide 15 ± 20°C

In ogni caso il progetto è basato su una duplice refrigerazione della singola sciabola:

- un tubo refrigerante sull'estradosso
- un tubo refrigerante sull'intradosso (utile per la refrigerazione dei fazzoletti d'estremità).

Dal punto di vista idraulico le sciabole di ogni spira sono collegate in serie, mentre le singole spire sono collegate in parallelo. Le spire risultano essere alternativamente "lunga"/"corta" data la soluzione dispari (vedi Dis. ICA/3S):

- spira lunga n. 4 sciabole
- spira corta n. 3 sciabole

7. - SOLLECITAZIONI TERMICHE DIFFERENZIALI

Le sollecitazioni termiche differenziali possono venire raggruppate in due classi distinte:

- a) sollecitazioni termiche connesse al tipo di refrigerazione della sciabola;
- b) sollecitazioni termiche dovute all'interazione "fondazioni/solenoide".

Le sollecitazioni termiche in oggetto vanno naturalmente a sommarsi a quelle dovute a peso proprio e a sisma (vedi p.to 5).

Nel seguito vengono brevemente esaminate le due classi di sollecitazioni termiche differenziali.

7.1. - Refrigerazione sciabola

Le sollecitazioni termiche differenziali dipendono in modo marcato dal tipo refrigerazione scelto:

- asimmetrica (es. refrigerazione solo sull'estradosso);
- simmetrica (es. refrigerazione doppia intradosso/estradosso).

Le caratteristiche della refrigerazione "asimmetrica" sono:

- elevate sollecitazioni termiche;
- elevato momento flettente di trasporto (problema congruenza sciabole e relativi risvolti strutturali).

Le caratteristiche della refrigerazione "simmetrica" sono:

- sollecitazioni termiche molto ridotte (fattore di abbattimento $10 \div 20$);
- momento flettente di trasporto circa nullo.

Si è adottata la soluzione "a refrigerazione simmetrica" 1/3-1/3-1/3 che comporta:

- un tubo refrigerante a 200 mm dall'intradosso (1/3 dello spessore radiale della sciabola);
- un tubo refrigerante a 200 mm dall'estradosso (1/3 dello spessore radiale della sciabola).

Tale soluzione comporta i seguenti vantaggi:

- riduzione sollecitazioni termiche di circa un fattore 10;
- azzeramento momento flettente di trasporto;
- minimizzazione impatto problemi strutturali sui fazzoletti giunzione estremità;
- riduzione effetto "punto caldo" fazzoletti giunzione estremità.

7.2. - Interazione "fondazioni/solenoide"

Le sollecitazioni termiche differenziali sono legate a:

- salto di temperatura tra fondazioni e solenoide;
- tipo di vincolo solenoide/fondazioni.

Per ridurre tali sollecitazioni termiche si possono adottare le seguenti soluzioni:

- migliorare la refrigerazione del solenoide (es. solenoide freddo come da p.to 6);
- ridurre al minimo possibile l'angolo di sella (N.B.: tale misura risulta controindicata per l'entità delle sollecitazioni strutturali di cui al p.to 5);
- introdurre un "suolo elastico" sulle due fiancate delle fondazioni (Fig. 1).

In ogni caso le sollecitazioni termiche di cui sopra possono costituire un problema "molto serio" data l'elevata rigidità della struttura del solenoide.

8. - CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

La verifica strutturale del solenoide si basa sui calcoli e sulle considerazioni di cui ai precedenti punti 5, 6 e 7.

La verifica strutturale va effettuata essenzialmente su due componenti:

- a) la sciabola;
- b) le spine portanti.

Gli altri elementi costruttivi hanno solo un ruolo funzionale (viti fazzoletti) o servono a rendere possibile il montaggio (viti di collegamento sciabole).

Nel seguito vengono brevemente descritte le verifiche strutturali da effettuare.

8.1. - Verifica strutturale della sciabola

Calcolo di tutte le sollecitazioni dovute agli aspetti:

- strutturale/peso proprio
- strutturale/sismico
- termico differenziale refrigerazione sciabola
- termico differenziale interazione "solenoide/fondazioni".

Analisi della combinazione più sfavorevole delle sollecitazioni sopramenzionate.

Analisi dei fattori di intaglio e di picco del progetto (es.: fori spine, fori filettati, viti, intagli, raccordi, ecc.).

Valutazione della sollecitazione unitaria di confronto (stress intensity).

Verifica della sollecitazione di confronto con quella ammissibile del materiale delle sciabole.

8.2. - Verifica strutturale delle spine portanti

Calcolo di tutti i momenti flettenti distribuiti dovuti agli aspetti:

- strutturale/peso proprio
- strutturale/sismico
- termico differenziale refrigerazione sciabola
- termico differenziale interazione "solenoidi/fondazioni".

Analisi della combinazione più svavorevole dei momenti flettenti sopramensionati.

Conversione in forza di taglio e verifica dell'anima metallica della spina portante.

Variazione, se necessario, del numero di spine portanti e/o del diametro della loro anima metallica.

9. - PROGETTAZIONE SOLENOIDE

Per quanto riguarda la progettazione del solenoide si rimanda al documento "Progetto costruttivo del solenoide - descrizione tecnica"^(3,4).

Qui di seguito sembra invece opportuno elencare una serie di scelte progettuali che vanno pesate su esigenze contrastanti che spingono in direzioni opposte. Tale elenco è indicativo e non ha pretese di completezza.

9.1. - Ampiezza angolo di sella $\alpha = 120^\circ \pm 150^\circ$

Valori elevati ($\alpha = 150^\circ$):

- basse sollecitazioni strutturali
- alte sollecitazioni termiche
- alti costi d'investimento relativi alle fondazioni
- elevata sicurezza per quanto riguarda la tanca.

Valori limitati ($\alpha = 120^\circ$):

- basse sollecitazioni termiche
- bassi costi di investimento relativi alle fondazioni
- alte sollecitazioni strutturali
- alto rischio che la soluzione scelta si riveli inadeguata nei riguardi della tanca.

9.2. - Spessore radiale sciabola ($t = 500 \pm 700$ mm)

Valori elevati ($t = 700$ mm):

- bassi costi di esercizio
- basse sollecitazioni strutturali
- alti costi di investimento del solenoide
- alte sollecitazioni termiche.

Valori limitati ($t = 500$ mm):

- basse sollecitazioni termiche
- bassi costi di investimento del solenoide
- alte sollecitazioni strutturali
- alti costi di esercizio.

9.3. - Spessore assiale sciabola ($s = 40 \pm 80$ mm)

Valori elevati ($s = 80$ mm):

- basso numero pezzi
- bassi costi investimento solenoide
- tempi montaggio in cantiere ridotti
- elevata affidabilità per ridotto numero fazzoletti giunzione elettrici
- elevata corrente alimentazione
- alti costi investimento per generatore corrente continua
- presumibile difficoltà serraggio sciabole con viti di collegamento (problema svergolatura e fuori piano delle sciabole).

Valori limitati ($s = 40$ mm):

- bassa corrente alimentazione
- bassi costi investimento per generatore corrente continua
- buona flessibilità fuori piano
- alto numero pezzi ed alto costo investimento solenoide
- elevato tempo montaggio cantiere
- ridotta affidabilità per elevato numero fazzoletti giunzione elettrici.

9.4. - Sviluppo angolare sciabola ($\beta = \frac{4}{9}\pi \pm \frac{4}{7}\pi$)

Valori elevati ($\beta = \frac{4}{7}\pi$):

- basso numero pezzi
- bassi costi investimento solenoide
- tempi di montaggio in cantiere ridotti
- elevata affidabilità per ridotto numero fazzoletti giunzione elettrici
- maggiori difficoltà di movimentazione e trasporto.

Valori ridotti ($\beta = \frac{4}{9}\pi$):

- minori difficoltà di movimentazione e di trasporto
- minori costi di trasporto
- alto numero pezzi
- alto costo investimento solenoide
- tempi di montaggio in cantiere più lunghi
- affidabilità ridotta per elevato numero fazzoletti giunzione elettrici.

9.5. - Materiale sciabola

Date le particolari esigenze sia elettriche che strutturali si hanno in pratica solo due alternative:

- alluminio puro (Al 99,5)
- alluminio bassoalegato (Si-Mg).

Nel caso dell'alluminio puro si ha:

- bassa resistività elettrica
- bassi costi di esercizio
- caratteristiche meccaniche inadeguate
- rilevanti problemi strutturali.

Nel caso di leghe di alluminio Al Si-Mg per impieghi elettrici si ha:

- resistività elettrica più elevata del 10 ± 20%
- costi di esercizio maggiorati
- migliori caratteristiche meccaniche
- problemi strutturali tecnicamente affrontabili.

Come compromesso tra le opposte esigenze ci si è indirizzati su una lega alluminio-silicio-magnesio per conduttori elettrici che appare particolarmente interessante per la combinazione di caratteristiche elettriche/meccaniche:

- Al Si 0,5 Mg UNI 3570 (ASTM-B317-Alloy 6101)

- elementi di lega Si 0,5% - Mg 0,5%
- buona conducibilità elettrica (penalizzazione < 10%)
- soddisfacenti caratteristiche meccaniche
- da utilizzare allo stato di laminato/trattato termicamente.

10. - ATTIVITA' DI RICERCA E SVILUPPO IN APPOGGIO

La progettazione del solenoide si dovrà poter avvalere di alcune attività di R&S in appoggio che si svilupperanno in parallelo alla progettazione stessa. Tali attività consistono nei tre seguenti filoni:

- a) sviluppo sciabola
- b) modello solenoide
- c) prove in appoggio.

Nel seguito vengono brevemente esaminati e descritti i contenuti tecnici delle attività sopramenzionate.

10.1 - Sviluppo sciabola

Questa attività consiste nella concezione, progettazione e sviluppo della sciabola del solenoide.

Sarà anche costruito un prototipo a piena scala con incorporati i tubi refrigeranti.

Allo stato attuale la soluzione di riferimento è costituita da una sciabola laminata in lega alluminio/silicio/magnesio.

La costruzione del prototipo consisterà pertanto nelle seguenti fasi:

- scelta della composizione chimica della lega
- fusione della brama
- laminazione della piastra
- trattamento termico
- controlli di qualità
- sagomatura della sciabola
- lavorazione delle scanalature di refrigerazione
- incorporo dei tubi refrigeranti annegati in resina epossidica
- controlli e collaudi finali
- redazione dossier finale.

10.2. - Modello solenoide

Questa attività consiste nella costruzione di un modello in scala del solenoide (es.: scala 1/10). Naturalmente la scala della lunghezza potrà essere più ridotta per risparmiare tempi e costi (es.: scala 1/30).

L'esecuzione del modello richiederà l'esecuzione di disegni "ad hoc" dato che non sarà naturalmente possibile riprodurre in scala tutti gli elementi di collegamento che ammontano a molte decine di migliaia.

In ogni caso andranno correttamente simulati i seguenti parametri:

- geometria sciabole
- materiale sciabole
- spine portanti
- angolo di sella.

Va valutata l'opportunità di utilizzare per il modello alluminio ricotto e un angolo di sella ridotto.

10.3. - Prove in appoggio

Si tratta di alcuni modelli a piena scala o in scala ridotta e delle relative prove.

Segue un elenco dei principali modelli/prove da effettuare:

- prove di carico statico sul modello solenoide di cui al punto 10.2
- modello in scala 1/1 del coprigiunto e verifica del momento flettente che porta a distorsione e/o rottura le spine portanti
- modello in scala 1/1 del giunto d'estremità delle sciabole (fazzoletti, viti di unione, foglio alluminio ricotto ecc.)
- modello in scala 1/1 su sciabola prototipo per prova viti di collegamento (svergolamenti e problemi di battuta).

11. - CONCLUSIONI

Le attività di concezione e di progetto sviluppate sul solenoide sono state basate sulle seguenti scelte e sui seguenti indirizzi:

1) Adozione di un triplice obiettivo di fondo:

- conferire al solenoide la massima sicurezza funzionale
- ridurre i costi d'investimento
- ridurre i tempi di costruzione.

- 2) Sviluppo di un progetto che possa incorporare indifferentemente sia una sciabola fusa che una sciabola laminata e sagomata (progetto flessibile e standardizzato).
- 3) Adozione di una soluzione di riferimento impostata sul concetto di una sciabola laminata e sagomata (la versione con sciabola fusa resta come soluzione di riserva).
- 4) Scelta di un'appropriata lega "alluminio/silicio/magnesio" come compromesso ottimale tra le opposte esigenze funzionali e strutturali (in ogni caso si tratterà di alluminio bassoalegato per impieghi elettrici).
- 5) Sviluppo di una concezione di base che permetta una netta separazione dei problemi funzionali da quelli strutturali (giunto di estremità delle sciabole strutturalmente scarico al fine di non compromettere la prestazione funzionale).
- 6) Adozione di sciabole a coprigiunto su passo dispari:
 - n. 7 sciabole sul passo di due angoli giro come soluzione di riferimento (sviluppo angolare della sciabola $4/7\pi$)
 - n. 9 sciabole sul passo di due angoli giro come soluzione alternativa (sviluppo sciabola $4/9\pi$).
- 7) Attuazione di una struttura monolitica realizzata con una giunzione distribuita continua delle sciabole (l'elemento di giunzione è costituito da spine isolate).
- 8) Adozione di fazzoletti rettangolari d'estremità opportunamente raccordati e refrigerati. Tali fazzoletti sono serrati a mezzo viti disposte su un passo quadro stretto.
- 9) Standardizzazione degli elementi di unione delle sciabole su solo tre tipi diversi:
 - viti serraggio fazzoletti di estremità (aspetto funzionale)
 - spine isolate di giunzione radiale/tangenziale (aspetto strutturale)
 - coppia "viti/rosetta isolante" di giunzione assiale (aspetto di montaggio).
- 10) Refrigerazione simmetrica bilaterale della sciabola sull'intradosso e sull'estradosso per bilanciare e ridurre al minimo il momento flettente dovuto alle sollecitazioni termiche di sezione.
- 11) Formulazione di una specifica di refrigerazione del solenoide che limita il salto di temperatura "fondazioni/solenoide" per tener sotto controllo le sollecitazioni termiche differenziali che si sviluppano all'interfaccia tra solenoide e fondazioni.
- 12) Definizione dei requisiti principali delle fondazioni del solenoide.

Tali requisiti si possono così riassumere:

 - le fondazioni hanno la forma di una sella continua avvolgente (angolo di sella circa $120^\circ + 150^\circ$)

- le fondazioni incorporano gli appoggi continui simmetrici necessari per il montaggio del solenoide (min. n. 2 appoggi, max n. 4 appoggi)
- le fondazioni inglobano due cunicoli per alloggiare i collettori dell'acqua di refrigerazione e le blindosbarre di ritorno.

13) Formulazione di un programma di ricerca e sviluppi in appoggio alla progettazione.

TABELLA I - DESCRIZIONE Ia VERSIONE - DIS. "ICA/1S" - 13/11/85. Sciabole fuse sez. 600x46 mm con sviluppo $\pi/2$ (90°) e giunti allineati.

SOLENOIDE	Diametro interno Diametro esterno Lunghezza solenoide Peso alluminio	DIN = 17.000 mm DES = 18.200 mm LSO = 25.145 mm PAL = 2.204 t
SPIRE	Numero spire Passo spire Sviluppo spire Superficie isolante	NSP = 535 PSP = 47 mm (46+1) SSP = 29.580 m (sul raggio medio) SIS = 17.750 m ² (isolante spira/spira)
SCIABOLE	Numero sciabole Sviluppo angolare Spessore radiale Spessore assiale Refrigerazione	NSC = 2.140 SAN = $\pi/2$ (soluzione a giunti allineati) SRA = 600 mm SAS = 46 mm REF = n.2 tubi Ø20x2 mm (centrali e simmetrici)
ELEMENTI DI UNIONE	Spine sciabole Viti sciabole Spine fazzoletti Viti fazzoletti Totale pezzi	SPS = 12.840 VIS = 53.500 SPF = 8.560 (fazzoletti portanti) VIF = 29.960 TOP = 104.860

Note sulle fondazioni: sella continua avvolgente $\alpha = 150^\circ$; n. 2 appoggi continui di montaggio (spaziati 74°); n. 2 tunnel con 4 collettori refrigeranti.

TABELLA II - DESCRIZIONE IIa VERSIONE - DIS. "ICA/7S" - 26/11/86. Sciabole fuse sez. 500x54 mm con sviluppo 4 /7 e giunti sfalsati (soluzione a copri-giunto).

SOLENOIDE	Diametro interno Diametro esterno Lunghezza solenoide Peso alluminio	DIN = 17.000 mm DES = 18.000 mm LSO = 25.080 mm PAL = 1.828 t
SPIRE	Numero spire Passo spire Sviluppo spire Superficie isolante	NSP = 456 PSP = 55 mm (54+1) SSP = 25.070 m (sul raggio medio) SIS = 12.530 m ²
SCIABOLE	Numero sciabole Sviluppo angolare Spessore radiale Spessore assiale Refrigerazione	NSC = 1.596 SAN = $4\pi / 7$ (soluzione a giunti sfalsati) SRA = 500 mm SAS = 54 mm REF = n.2 tubi Ø18x2 mm (centrali e simmetrici)
ELEMENTI DI UNIONE	Spine sciabole Viti sciabole Spine fazzoletti Viti fazzoletti Totale pezzi	SPS = 31.920 VIS = 12.768 SPF = ----- (i fazzoletti non sono portanti) VIF = 28.728 TOP = 73.416

Note sulle fondazioni: sella continua avvolgente $\alpha = 148^\circ$; n. 2 appoggi continui di montaggio (spaziati 80°); n. 2 tunnel con 2 collettori refrigerazione.

TABELLA III - DESCRIZIONE IIIa VERSIONE - DIS. "ICA/9S" - 30/01/86. Sciabole laminate/sagomate sez. 600x74 mm con sviluppo 4 /7 e giunti sfalsati (coprigiunto).

SOLENOIDE	Diametro interno Diametro esterno Lunghezza solenoide Peso alluminio	DIN = 17.000 mm DES = 18.200 mm LSO = 24.975 mm PAL = 2.207 t
SPIRE	Numero spire Passo spire Sviluppo spire Superficie isolante	NSP = 333 PSP = 75 mm (74+1) SSP = 18.410 m (sul raggio medio) SIS = 11.050 m²
SCIABOLE	Numero sciabole Sviluppo angolare Spessore radiale Spessore assiale Refrigerazione	NSC = 1.166 (166x7+4) SAN = $4\pi/7$ (soluzione a giunti sfalsati) SRA = 600 mm SAS = 74 mm REF = n.2 tubi Ø22x1,5 mm (centrali e simmetrici)
ELEMENTI DI UNIONE	Spine sciabole Viti sciabole Spine fazzoletti Viti fazzoletti Totale pezzi	SPS = 18.656 VIS = 6.996 SPF = ----- (i fazzoletti non sono portanti) VIF = 27.984 TOP = 53.636

Note sulle fondazioni: sella continua avvolgente =130°; n. 4 appoggi continui (suolo elastico laterale); n. 2 collettori refrigerazione.

TABELLA IV - RAFFRONTO VERSIONI Ia - IIa - IIIa

		Ia VERS.	IIa VERSIONE		IIIa VERSIONE	
		ICA/1S	ICA/7S	Δ	ICA/9S	Δ
SOLE- NOIDE	DIN	17.000 mm	17.000 mm		17.000 mm	
	DES	18.200 mm	18.000 mm	-1,1%	18.200 mm	
	LSO	25.145 mm	25.080 mm		24.975 mm	
	PAL	2.204 t	1.828 t	-17,1%	2.207 t	
SPIRE	NSP	535	456	-14,8%	333	-37,8%
	PSP	47 mm	55 mm	+17,0%	75 mm	+59,6%
	SSP	29.580 m	25.070 m	-15,2%	18.410 m	-37,8%
	SIS	17.750 m ²	12.530 m ²	-29,4%	11.050 m ²	-37,8%
SCIABOLE	NSC	2.140 Fuse	1.596 fuse	-25,4%	1.166 Lam	-45,5%
	SAN	$\pi/2$ G.A.	$4\pi/7$ G.S.	+14,3%	$4\pi/7$ G.S.	+14,3%
	SRA	600 mm	500 mm	-16,7%	600 mm	
	SAS	46 mm	54 mm	+17,4%	74 mm	+60,9%
	REF	2 Tubi Ø 20x2	2 Tubi Ø 18x2		2 Tubi Ø 22x1,5	
ELEMENTI DI UNIONE	SPS	12.840	31.920	+148,6%	18.656	+45,3%
	VIS	53.500	12.768	-76,1%	6.996	-86,9%
	SPF	8.560		-100%		-100%
	VIF	29.960	28.728	-4,1%	27.984	-6,6%
	TOT	104.860	73.416	-30,0%	53.636	-48,8%
FONDA- ZIONI	NAP SEL	2 centrali No	2 centrali No		2 centrali + 2 later. S1/sui laterali	

DIN diametro interno
 DES diametro esterno
 LSO lunghezza del solenoide
 PAL peso alluminio
 NSP numero spie
 PSP passo spire
 SSP sviluppo spire
 SIS superficie isolante
 NSC numero sciabole
 SAN sviluppo angolare

SRA spessore radiale
 SAS spessore assiale
 REF refrigerazione
 SPS spine sciabole
 VIS viti sciabole
 SPF spine fazzoletti
 VIF viti fazzoletti
 TOT totale pezzi
 NAP n. appoggi
 SEL suolo elastico

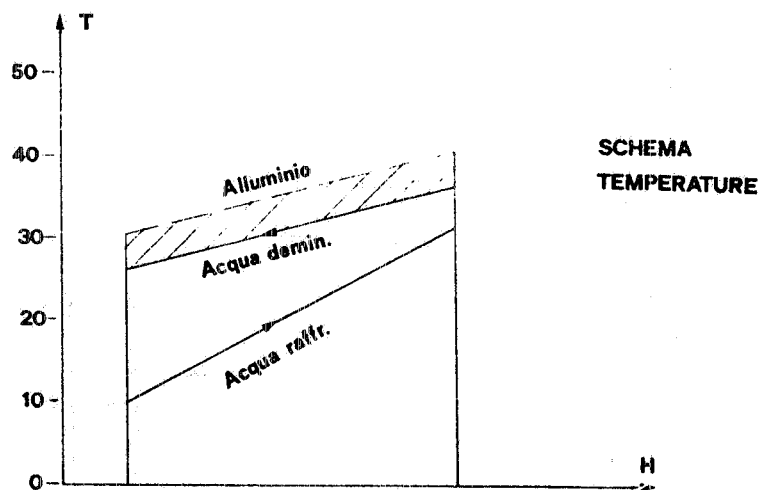
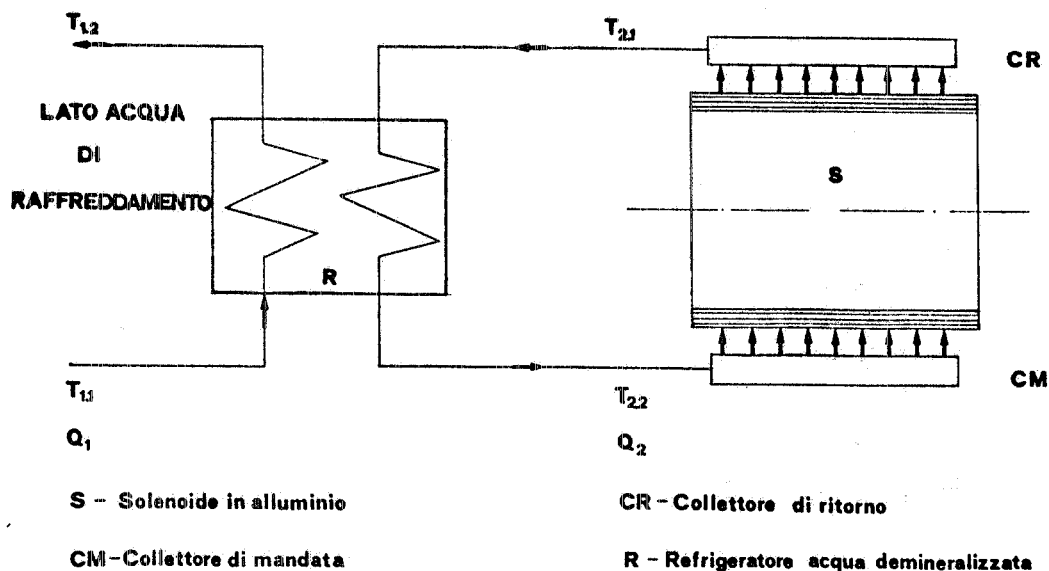
RIFERIMENTI

- 1) ICARUS-85/06, C. Rubbia 27/09/85.
- 2) ICARUS-85/07, C. Rubbia 29/09/85.
- 3) ICARUS-85/10, G.d.L. INFN-LNF (B. Dulach)/ANSALDO R. (F. Straffi) 13/09/85.
- 4) PROGETTO COSTRUTTIVO DEL MAGNETE - DESCRIZIONE TECNICA, F. Straffi 12/12/85.
- 5) RACCOLTA DOCUMENTI N. 2 - DISEGNI.
- 6) RACCOLTA DOCUMENTI N. 3 - CALCOLI STRUTTURALI.
- 7) RACCOLTA DOCUMENTI N. 4 - CALCOLI SISMICI.
- 8) RACCOLTA DOCUMENTI N. 5 - NOTE TECNICHE.

NOTA: Per l'elenco dettagliato dei documenti di cui ai rif. 5 + 8 vedi dossier finale di commessa.

APPENDICE I

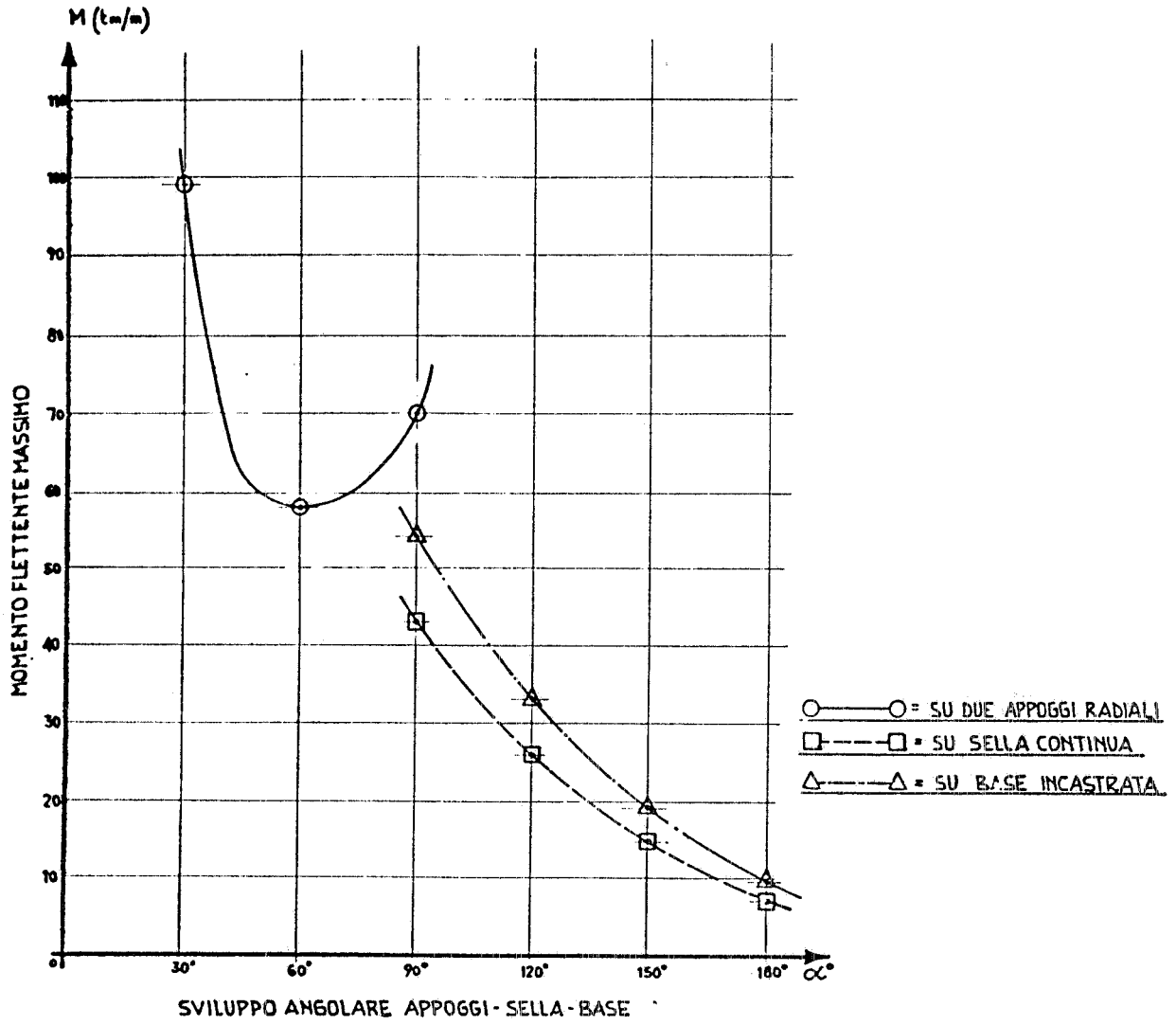
- LATO ACQUA DEMINERALIZZATA -



	Acqua raffr.	Acqua demin.
Temp. ingresso	$T_{1,1}$ 10°C	$T_{2,1}$ 37°C
Temp. uscita	$T_{1,2}$ 32°C	$T_{2,2}$ 27°C
Portata	Q_1 180 litri/sec.	Q_2 325 litri/sec.

- Temp. pareti int./est. solenoide - Min/Max ~ 30÷40°C -

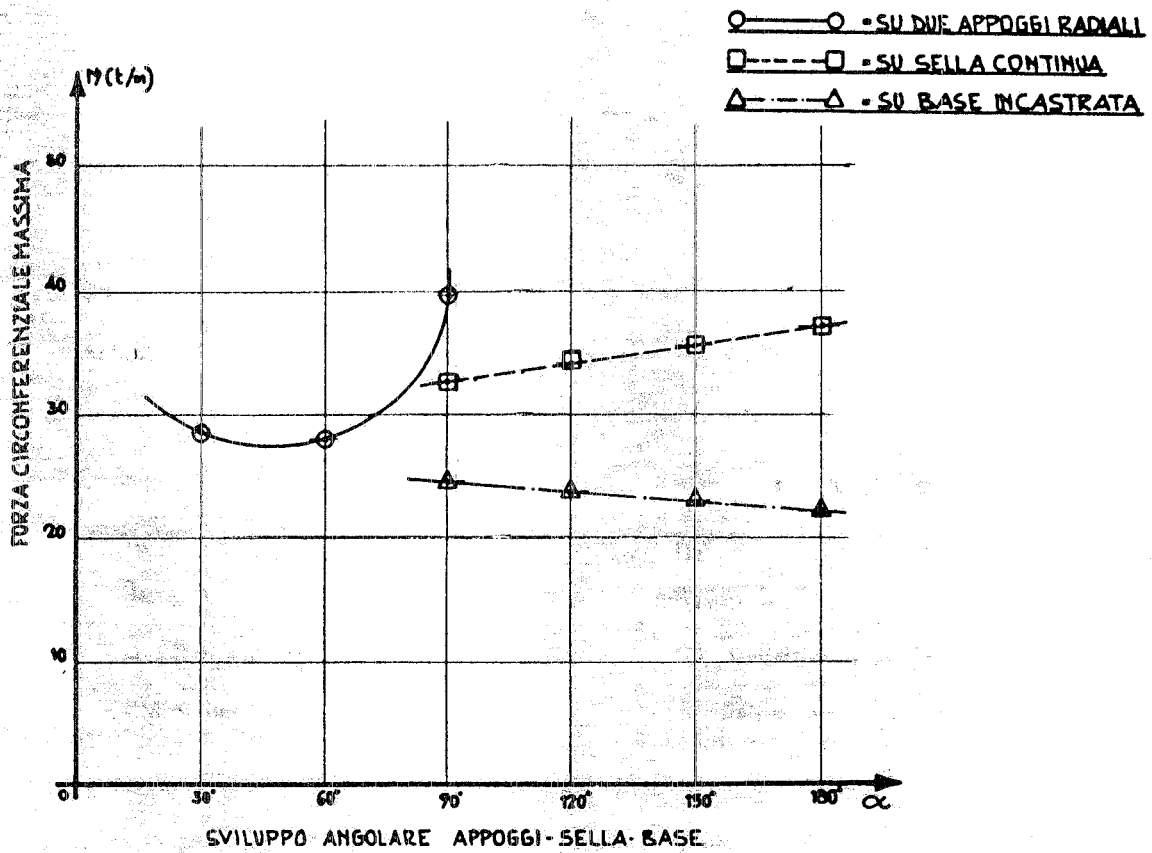
APPENDICE II



SOLENOIDE - ANDAMENTO DEL MOMENTO FLETTENTE MASSIMO

α° SVILUPPO ANGOLARE	1ª SERIE SU DUE APPOGGI RADIALI	2ª SERIE SU SELLA CONTINUA	3ª SERIE SU BASE INCASTRATA
30°	99.1		
60°	58.2		
90°	70.1	42.7	53.7
120°		26.2	33.4
150°		14.8	19.2
180°		7.3	9.9

APPENDICE III



α°	1ª SERIE	2ª SERIE	3ª SERIE
SVILUPPO ANGOLARE	SU DUE APPOGGI RADIALI	SU SELLA CONTINUA	SU BASE INCASTRATA
30°	28,5	/	/
60°	28,1	/	/
90°	39,9	32,8	24,5
120°	/	34,1	23,6
150°	/	35,7	22,9
180°	/	37,2	21,8

SOLENOIDE - ANDAMENTO DELLA FORZA CIRCONFERENZIALE MASSIMA.