

## SERBATOI SFERICI A SOSPENSIONE FUNICOLARE(\*)

*(Con cinque tavole fuori testo)*

GUSTAVO COLONNETTI

*Accademico Pontificio*

SUMMARIVM. — Novum rotundum receptaculum pro gravioribus liquidis describitur, et quomodo eius rationes adamussim supputari possint ostenditur.

Il serbatoio sferico, che rappresenta notoriamente la soluzione ideale del problema dell'immagazzinamento dei gas compressi, si presta evidentemente meno bene all'immagazzinamento dei liquidi in ragione della non uniforme distribuzione delle pressioni che questi esercitano sulle sue pareti.

I vantaggi che l'involucro sferico presenta son tuttavia tali da suggerire l'adozione di armature irrigidenti che ne rendano possibile l'impiego anche in questo caso.

Ora, tra i tanti tipi — più o meno razionali — di armature che sono stati a questo fine escogitati, uno ve n'è, nuovissimo<sup>(1)</sup>, il quale mi sembra meritevole di esser qui brevemente illustrato, anche perchè segna una nuova, caratteristica tappa verso l'impiego sistematico degli stati di coazione nei sistemi iperstatici.

\* \* \*

Consideriamo una sfera cava, ripiena di un liquido.

La pressione che questo esercita sopra un elemento qualunque dell'involucro si può sempre considerare come la somma di una pres-

---

(\*) Nota presentata il 7 luglio 1941.

(1) Brevetto italiano n. 395700 in data 5 febbraio 1942.

sione uniformemente distribuita, corrispondente al battente liquido sul vertice della sfera, e di una pressione variabile con legge idrostatica, epperò di intensità proporzionale alla profondità dell'elemento per rapporto al detto vertice.

Alla pressione uniforme resiste bene l'involucro, in quanto ha precisamente la forma della superficie funicolare del carico.

Convieni invece liberare l'involucro dal compito di resistere alla pressione variabile (nonchè alle sollecitazioni accessorie: in particolare al peso proprio della struttura) ed affidare questo compito all'armatura.

A tal fine giova foggare quest'armatura secondo la funicolare delle forze ch'essa dovrà sopportare.

Perciò, suddiviso idealmente l'involucro in un conveniente numero di spicchi limitati da meridiani verticali equidistanti, e ciascuno spicchio in un certo numero di settori mediante paralleli orizzontali, si determinerà per ciascun settore la risultante del suo peso proprio e delle pressioni idrostatiche a battente nullo.

Poi, nel piano meridiano contenente tutte le risultanti relative ai varî settori di un medesimo spicchio, si conetteranno queste risultanti con un poligono funicolare (la cui forma e posizione possono, entro certi limiti, farsi variare a volontà mediante una opportuna scelta del polo e della posizione di uno dei lati); e si realizzerà questo poligono funicolare mediante una catena di aste articolate, ancorata ad un robusto pilone centrale, e le cui singole articolazioni verranno collegate all'involucro mediante un sistema di tiranti disposti secondo le linee d'azione delle predette risultanti.

A ciascuno spicchio verrà così a corrispondere una sua *funicolare di sospensione*.

È chiaro che una cosiffatta armatura assolverà al compito che le abbiamo prefisso - liberando l'involucro dall'onere di sopportare il suo proprio peso nonchè il peso del liquido in esso contenuto, e riportando l'uno e l'altro sul pilone centrale - se le tensioni nei singoli tiranti saranno ordinatamente eguali alle anzidette risultanti. Il che si può sempre ed immediatamente ottenere attribuendo, in ciascuna funicolare di sospensione, un conveniente valore alla tensione di uno qualunque dei suoi lati.

\* \* \*

Si noti bene che non a caso ho detto che bisogna *attribuire una tensione conveniente alla funicolare di sospensione*.

È noto infatti che, secondo la teoria classica dell'elasticità, la tensione (iperstatica) determinata nel poligono funicolare da un dato sistema di forze esterne applicate all'involucro, è in ogni singolo caso concreto perfettamente determinata in funzione delle dette forze esterne e delle costanti elastiche delle varie parti della struttura.

Ma questa tensione non sarà, generalmente, quella che realizza le condizioni statiche sopra indicate.

Le quali condizioni statiche non potranno pertanto, generalmente, venire raggiunte se non *attribuendo* al poligono funicolare una tensione impressa - o di montaggio - tale che, sommata con la tensione determinata dalle forze esterne, ci dia precisamente il valore voluto.

Il fatto poi che il secondo termine della somma dipenda dalle costanti elastiche della struttura ci permette evidentemente di raggiungere il risultato in infiniti modi diversi, vale a dire con valori diversi della tensione impressa.

E di questa circostanza ci si potrà sempre valere per soddisfare a qualche condizione ulteriore: concernente per esempio le condizioni statiche della struttura a serbatoio vuoto.

\* \* \*

Per dare qui un'idea del modo con cui lo studio statico di una tal costruzione può venire condotto, io presento nelle cinque tavole allegate a questa Nota il disegno ed il calcolo di un serbatoio sferico di metri 9,15 di diametro - epperò della capacità di 400 metri cubi - che, seguendo le direttive da me indicate, è stato studiato dai miei collaboratori Ingegneri PIZZETTI e LO VARCO, per conto della Società Ansaldo che ne eseguirà la costruzione negli stabilimenti di Livorno della «Liquigas».

Per questo serbatoio la condizione estrema di carico sarà realizzata con riempimento di acqua alla pressione di 7,5 atmosfere.

In base a questa pressione (supposta uniforme) è stato quindi progettato l'involucro che verrà costruito in lamiera d'acciaio dolce di 16 mm. di spessore.

La funicolare di sospensione è stata tracciata in modo che uno dei suoi lati coincida con una corda dell'involucro. Ciò equivale praticamente a dividere la funicolare in due parti; una delle quali sottende il semispicchio superiore, mentre l'altra sostiene il semispicchio inferiore; il che presenta qualche vantaggio dal punto di vista costruttivo, pur senza nulla mutare nella funzione statica della sospensione.

Le tensioni che questa è chiamata a sopportare, nella predetta condizione estrema di carico, sono state determinate per via grafica nella tavola II.

In base ai risultati di questo calcolo è stato studiato il dimensionamento della sospensione.

Nelle tavole III e IV è stato invece determinato il regime delle tensioni che nella sospensione stessa son prodotte dalle forze esterne applicate all'involucro (indipendentemente da ogni eventuale tensione di montaggio).

A tal fine si è postulato uno stato di tensione arbitrario ( $T=1$ ) della sospensione; si sono determinate le sollecitazioni che esso produrrebbe nell'involucro, nonchè le conseguenti deformazioni.

Interpretata poi la deformata dell'involucro come *diagramma di influenza della tensione nella sospensione*, si è calcolato il valore di questa tensione per la condizione effettiva di carico.

Per differenza si dedurrà il valore della tensione di montaggio, ed, in funzione di questo, si studieranno le condizioni statiche della struttura a serbatoio vuoto.

Nella tavola IV il tracciamento del diagramma di influenza è stato fatto due volte, in relazione ai diversi dimensionamenti della sospensione ottenuti supponendo di impiegare, nella costruzione di questa, due diversi tipi di acciaio: un ordinario acciaio dolce ed un acciaio ad alta resistenza.

È interessante istituire un raffronto tra i due diagrammi, e tra i valori delle tensioni che se ne deducono:

Tensione della sospensione misurata in corrispondenza del suo estremo superiore	Costruzione in acciaio dolce ordinario	Costruzione in acciaio ad alta resistenza
	kg.	kg.
Tensione impressa (o di montaggio) . .	2.250	14.400
Tensione effettiva a serbatoio vuoto . .	2.480	14.800
a serbatoio pieno con battente nullo . .	6.250	16.480
a serbatoio pieno sotto carico . . . .	23.400	23.400

Il paragone mette bene in evidenza l'influenza delle diverse caratteristiche del materiale.

Ferme restando le condizioni statiche della struttura a pieno carico, si ha infatti nel secondo caso una cospicua diminuzione della tensione determinata dalle forze esterne; quindi un corrispondente aumento della tensione di montaggio.

Le conseguenze si rendono palesi nella tavola V, dove si trovano riprodotti, l'uno accanto all'altro, i diagrammi degli sforzi secondo i paralleli e secondo i meridiani dell'involucro nelle due ipotesi suaccennate, sia a serbatoio pieno con battente nullo, sia a serbatoio vuoto (vale a dire sotto l'azione del solo peso proprio della struttura).

Degno di particolare attenzione è poi il fatto che l'aumento della tensione nella sospensione, per un incremento del 10% del carico, è nel caso dell'acciaio dolce di 1715 kg. (pari al 7,33%) mentre nel caso dell'acciaio ad alta resistenza è di soli 692 kg. (pari al 2,96%).

\* \* \*

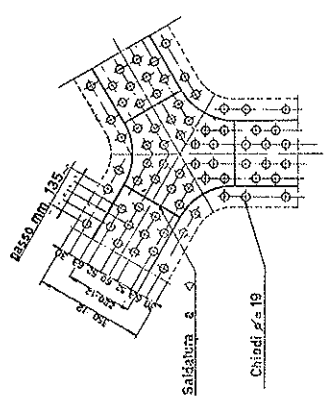
I miei collaboratori illustreranno, in altra sede e con ben maggiore ampiezza, le più interessanti caratteristiche dello studio che essi hanno condotto a termine con singolare perizia.

A me basta far qui tre semplicissimi ma fondamentali rilievi, la cui portata esorbita dal particolare problema di cui qui si tratta per investire in pieno il problema, ben più ampio e generale, delle strutture iperstatiche in stato di coazione.

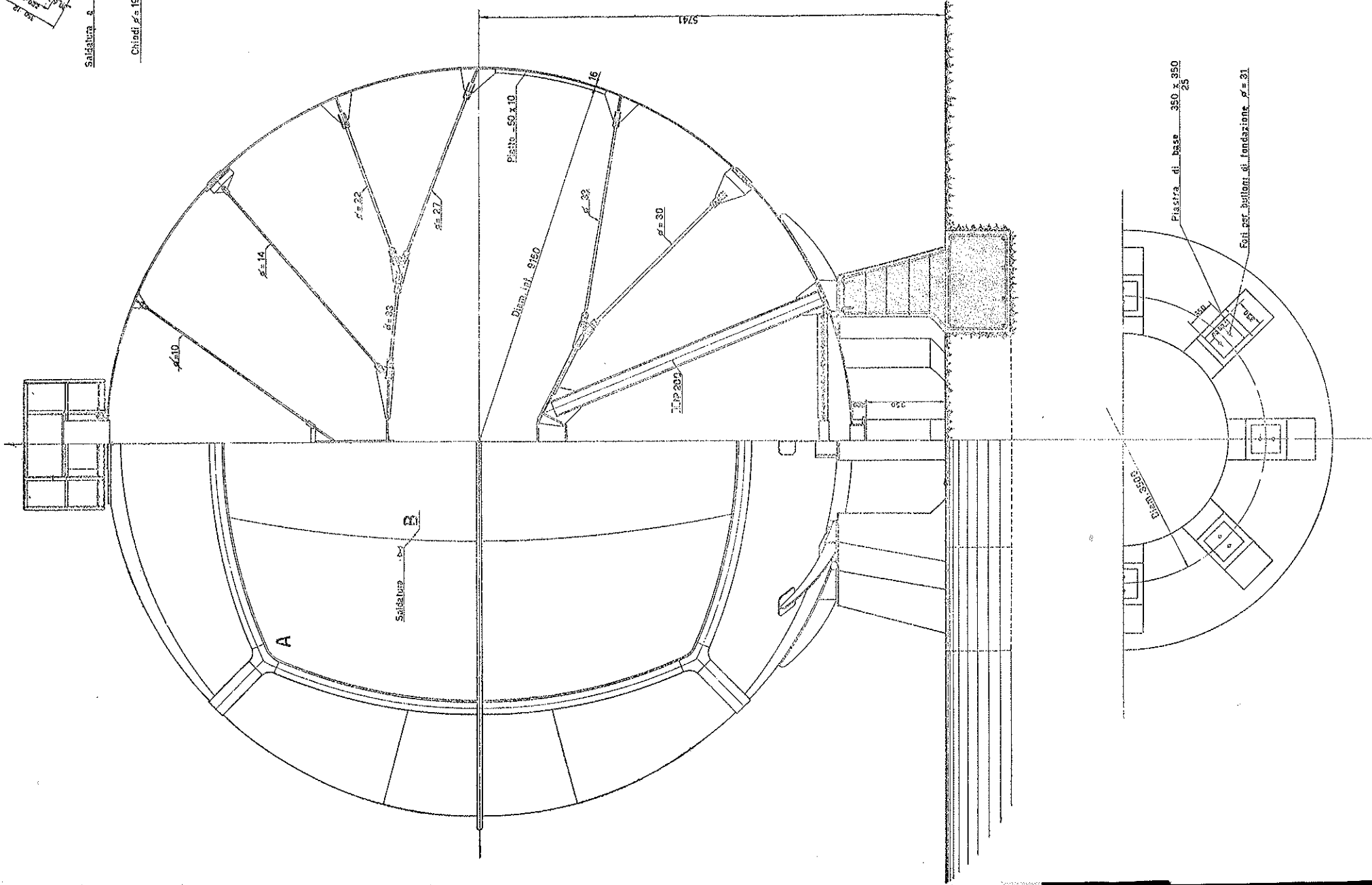
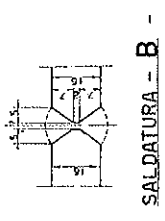
Il primo rilievo concerne la possibilità di una utilizzazione integrale delle caratteristiche di resistenza dei materiali, nei quali si può, con un impiego razionale degli stati di coazione, determinare sollecitazioni che, a pieno carico, raggiungano ovunque i limiti di sicurezza, realizzando (anche nei sistemi più complessi) le condizioni statiche ideali e le caratteristiche del solido di egual resistenza.

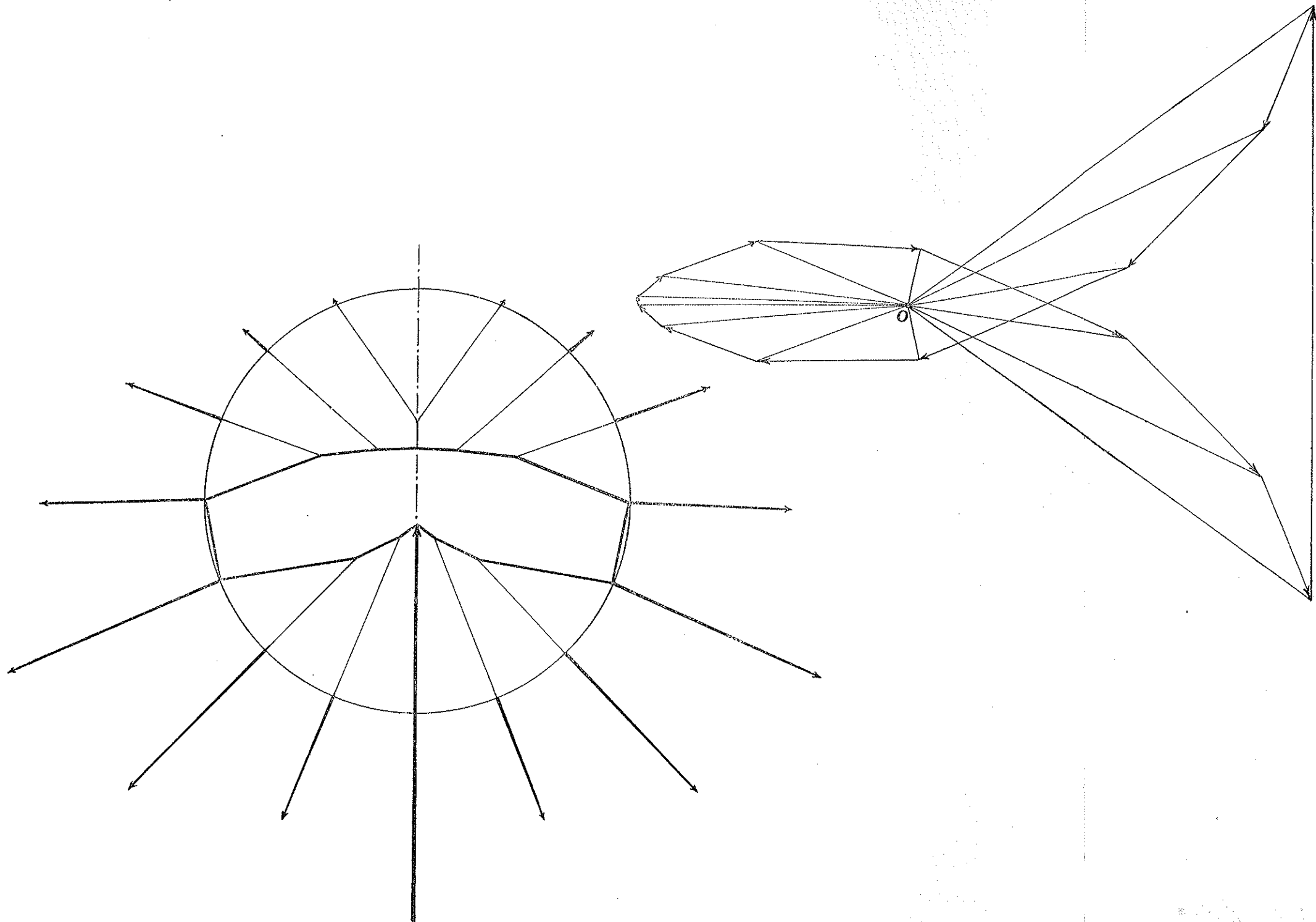
Il secondo rilievo riguarda l'uso degli acciai di qualità a cui l'impiego sistematico degli stati di coazione conduce il progettista, nonchè i minori margini di sicurezza che per essi si possono adottare, dipendentemente da ciò che le sollecitazioni non crescono più proporzionalmente ai carichi, bensì in base ad una legge ancor lineare ma non più omogenea.

Il terzo ed ultimo rilievo si riferisce alla possibilità che il proporzionamento delle strutture, adeguato alle condizioni statiche a pieno carico, sia tale che certe condizioni particolarmente sfavorevoli alla stabilità (come compressioni secondo i meridiani o secondo i paralleli) si vengano a verificare soltanto per condizioni di carico parziali o addirittura a serbatoio vuoto.



PARTICOLARE - A -



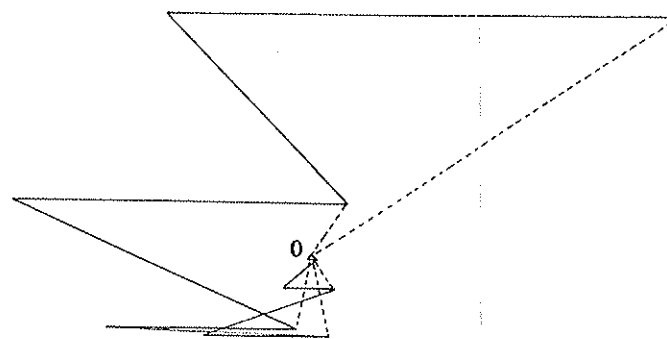
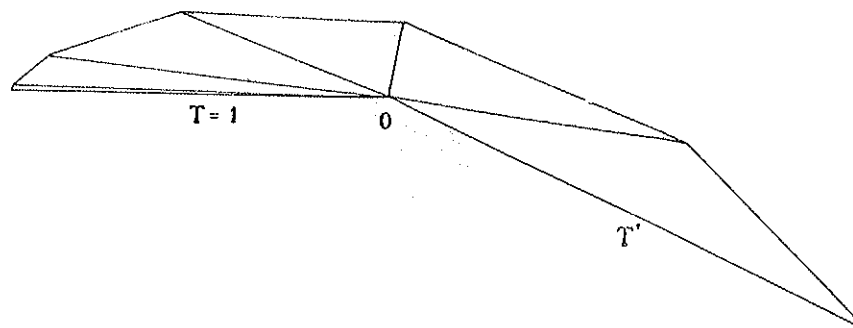
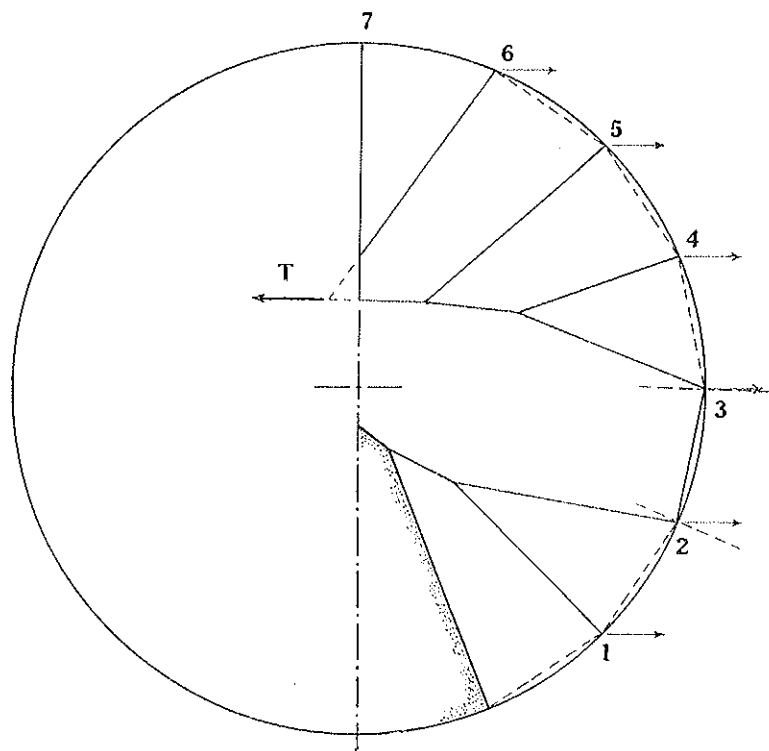


Poligono delle forze e poligono funicolare per le risultanti del peso proprio della struttura e delle pressioni idrostatiche a serbatoio pieno con battente nullo.

Scala delle lunghezze 1:1000

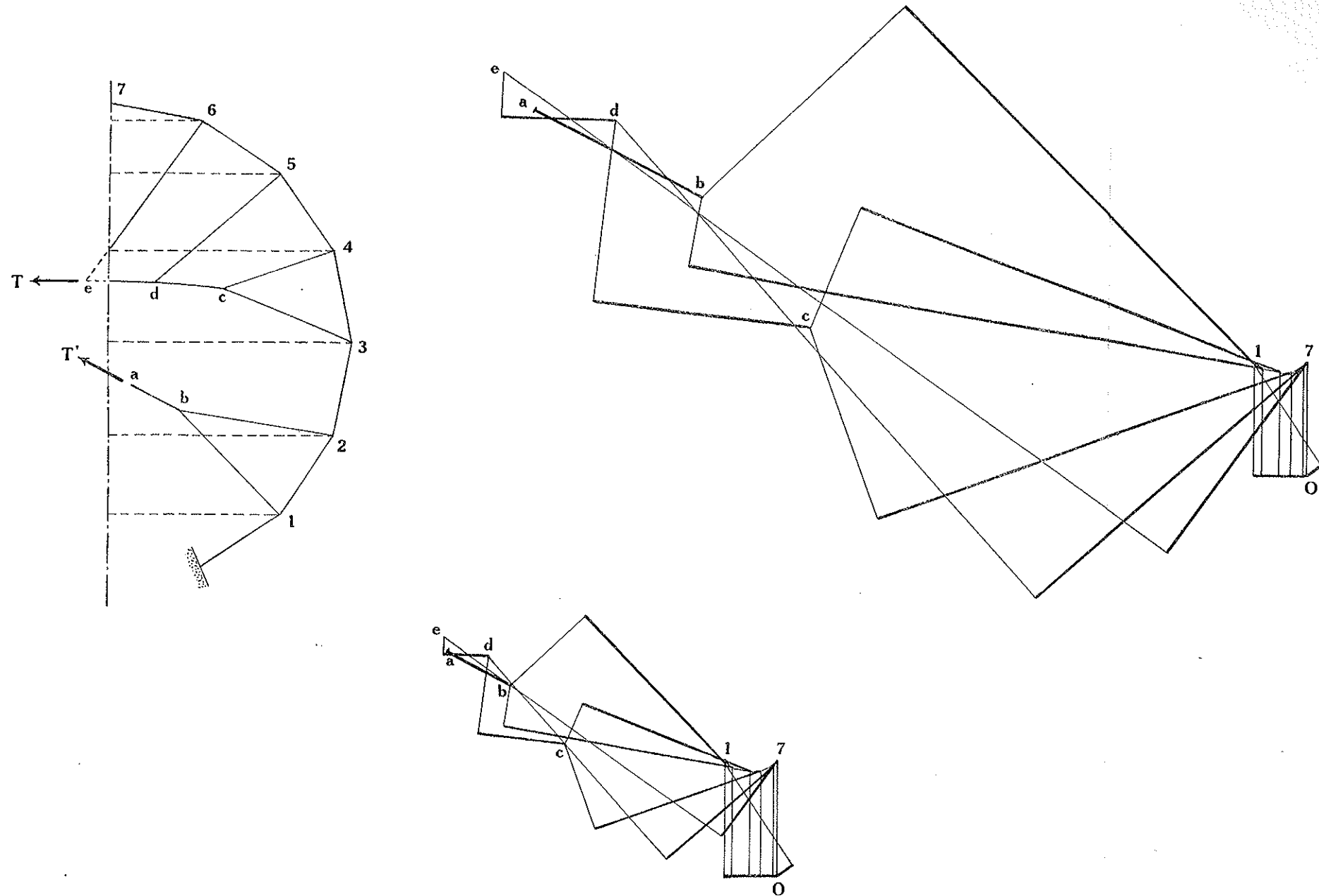
Scala delle forze 1cm. = 4000 kg.





IPOTESI  $T=1$ .

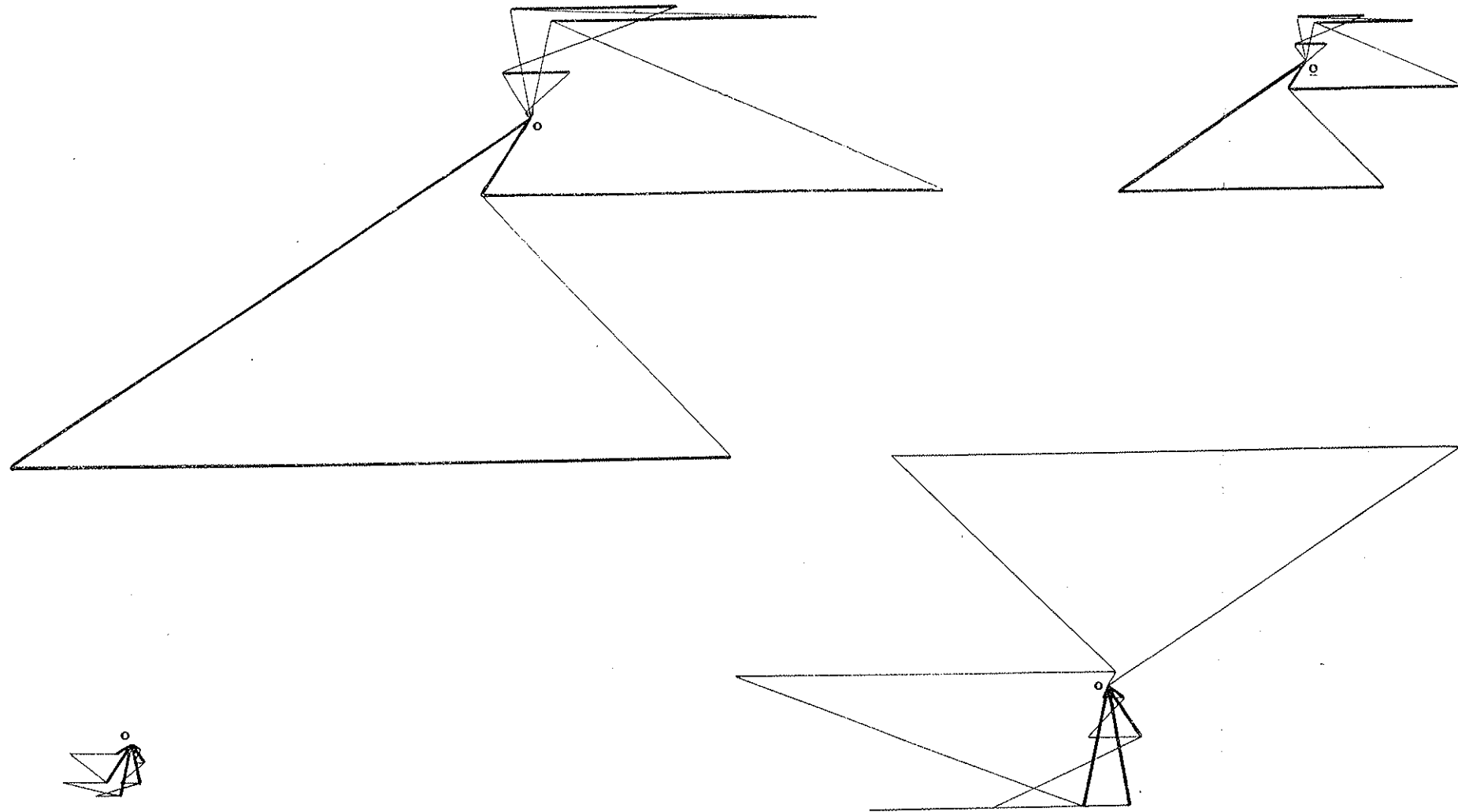
*In alto:* il poligono delle forze nella funicolare di sospensione e nei tiranti che da essa si dipartono.  
*In basso:* la determinazione delle reazioni che ne conseguono secondo il meridiano o secondo i paralleli.



Costruzione grafica della deformata del meridiano da interpretarsi come diagramma di influenza della tensione nella funicolare di sospensione.

*In basso:* nella ipotesi che nella costruzione della sospensione si sia impiegato un acciaio dolce (A 37).

*In alto:* nella ipotesi che nella costruzione della sospensione si sia impiegato un acciaio ad alta resistenza ( $R = 90-100$ ).



Diagrammi degli sforzi secondo il meridiano e secondo i paralleli (*Scala delle forze 1cm. = 1000 kg.*).

*A sinistra:* nella ipotesi che nella costruzione della sospensione si sia impiegato un acciaio dolce (A 37).

*Diagramma in alto:* a serbatoio pieno con battente nullo.

*Diagramma in basso:* a serbatoio vuoto.

*A destra:* nella ipotesi che nella costruzione della sospensione si sia impiegato un acciaio ad alta resistenza ( $R = 90-100$ ).

*Diagramma in alto:* a serbatoio pieno con battente nullo.

*Diagramma in basso:* a serbatoio vuoto.