

PER CHI SUONA LA CAMPANA ?

[con tante scuse ad Ernest Hemingway⁽¹⁾.....]

CENNI SUI TUTTALA HORTEN

△ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △ △

Lo sviluppo dell'aviazione durante il periodo pionieristico (ultimo ventennio del 1800 e primo decennio del 1900) portò alla configurazione classica dell'aeroplano, così come la conosciamo oggi: ala, fusoliera, impennaggi. Questi ultimi erano sistemati in coda, ma anche anteriormente all'ala (configurazione "*canard*").

Fu presto chiaro agli studiosi dell'epoca che il pedaggio da pagare, in termini di resistenza passiva, era molto elevato, a causa della fusoliera e degli impennaggi. Si pensò quindi di eliminare anzitutto l'ingombrante fusoliera e, successivamente anche lo stabilizzatore orizzontale.

Già prima del conflitto mondiale 1914-1918 si erano levati in volo aeroplani *senzacoda*, con prestazioni di tutto rispetto. Anche i primi aeromodelli *tuttala* (o *senzacoda*) risalgono a quell'epoca, ad opera di appassionati tedeschi, inglesi, francesi: non ho trovato traccia di italiani.

Fu nella seconda metà degli anni '20 del secolo scorso che iniziò a Bonn l'attività di due ingegnosi fratelli tedeschi, **Reimar** (1915) e **Walter** (1913) **Horten**, inizialmente aiutati dal fratello maggiore **Wofram** (1912) e dalla sorella **Gunilde**. Quest'ultima, bravissima in matematica, diede un notevole aiuto nell'esecuzione di complessi calcoli aerodinamici, che allora si eseguivano completamente a mano, con l'aiuto di calcolatrici meccaniche a manovella e di regoli calcolatori. Non c'erano ancora calcolatrici elettroniche, computers, programmi informatici.

Iniziarono con robusti modelli come quelli della **FIG.1**, realizzati con materiali comuni e mezzi di fortuna (tutti gli utensili erano manuali).

Si trattava di veleggiatori per volo libero (**FIG.2**) che venivano lanciati da un pendio sfruttando le correnti termo-dinamiche.

La conca della *Wasserkuppe*, come ha potuto constatare chi avuto la fortuna di visitarla, è configurata in modo tale che una lieve brezza soffia in ogni ora del giorno. Divenne presto il paradiso dei volovelisti, perché il Trattato di Versailles aveva proibito ai tedeschi qualsiasi attività aviatoria: erano consentiti solo alianti, modelli volanti e mongolfiere.

Con i modelli volanti si svolgevano gare di durata, distanza ed altezza; questa attività durò sino alla fine della II° Guerra Mondiale.

Alla configurazione *tuttala* gli **Horten** arrivarono in modo del tutto fortuito.

Sovente i modelli venivano lanciati da terra col cavo elastico oppure con un piccolo razzo.

Una volta lo stabilizzatore orizzontale, costituito da una piastrina di compensato, fu completamente bruciato dal razzo, ma il modello continuò a volare meglio di prima. Un fabbricante di elaborati aquiloni, loro vicino di casa, spiegò loro perché rimanevano in aria più di tutti gli altri: oltre ad un certo diedro, avevano anche lo svergolamento negativo alle estremità alari. Furono circa un centinaio i modelli *senzacoda* successivamente realizzati: arrivarono così al concetto di ala volante aerodinamicamente "*pulita*", riducendo al minimo ogni possibile protuberanza. Agli inizi degli anni '30 decisero di realizzare un veleggiatore *tuttala* per volarci

(1) autore del classico romanzo con questo titolo, ambientato in Spagna durante la guerra civile 1936-1938.

sopra, che fu costruito interamente nel soggiorno della loro abitazione, grazie alla comprensione dei genitori (**FIG.3**). Dovettero smontare la vetrata che dava sul giardino per portare il velivolo all'aperto. Volò per la prima volta nel 1933 e fu un autentico successo: soddisfò pienamente le loro aspettative.

Fu il primo di una lunga serie di tuttala per impiego civile e militare: furono oltre 40 i progetti da loro realizzati direttamente in Germania prima della fine della II° Guerra Mondiale ed oltre 100 i velivoli costruiti. Il numero di quelli realizzati da altri non fu mai accertato. Tutti e tre i fratelli **Horten** militarono nella *Luftwaffe*, a volte solo per brevi periodi: il più anziano, **Wolfram** cadde al largo di Cherbourg, nella Francia occupata, mentre stava depositando mine magnetiche con un bimotore *Me 111*: si disse che una mina era esplosa in volo. **Walter**, pilota da caccia, con il suo *Me 109* abbatté tre *Spitfires*, tre *Hurricanes*, un *Boulton Paul Defiant*. Aveva ideato un particolare metodo d'attacco ed uno speciale mirino: entrambi vennero poi adottati da famosi cacciatori tedeschi, con centinaia di abbattimenti a loro credito. **Reimar** era la *mente pensante*, mentre **Walter** era l'*organizzatore*.

Grazie all'aiuto di un alto ufficiale favorevole allo sviluppo dei tuttala, aveva costituito un reparto speciale, denominato *SonderKommando #3*, per il quale riuscì ad ottenere la qualifica di *top secret*. Gli fu così possibile ottenere materiali, attrezzature, personale, motori d'aviazione, officine, praticamente a costo zero, senza che nemmeno le SS potessero ficcare il naso in una attività "*top secret*". Sarebbe troppo lungo ricordare gli aspetti più salienti della breve ma intensa carriera aeronautica degli **Horten**: da semplici modelli volanti (**FIG.1 e 2**), arrivarono al progetto preliminare di un tuttala transoceanico per colpire New York. Solo nel dopoguerra appresero che il carico bellico previsto era un ordigno nucleare allora in fase di sperimentazione ma non ancora messo a punto (fortunatamente per gli Alleati).

Gli Horten non aderirono mai al partito nazionalsocialista di Hitler, nemmeno alla *NSFK (National Sozialistische Flieger Korps = Corporazione degli Aviatori Nazionalsocialisti)*.

Voglio solo ricordare un curioso ed incredibile episodio, brillantemente illustrato nella vignetta dell'amico *oldtimer* **Carlo Turbino**, di Genova (**FIG.4**): ad un certo punto, per esigenze dovute alla condizione bellica, fu dato l'ordine di trasferire immediatamente due tuttala **Horten**. Per caricarli sui corti carri ferroviari, gli addetti segarono in due pezzi le quattro semiali costruite interamente in legno, pensando che si potessero poi facilmente reincollare.....

Scopo di questa chiaccherata è quello di illustrare sinteticamente il pensiero degli **Horten** sui tuttala, mettendo in evidenza gli aspetti pratici ed evitando approfondimenti nell'aerodinamica teoretica, scienza nella quale gli aeromodellisti non sono tenuti ad essere versati (ci mancherebbe altro). Per afferrare pienamente il pensiero aeronautico degli **Horten**, è sufficiente fare riferimento a quanto si impara (o si imparava) in qualsiasi corso di studi dopo le classi elementari.

Ho preso spunto dalla corrispondenza scambiata nel dopoguerra con il **Dr.Horten** in Argentina, nonché da numerose pubblicazioni specializzate, alcune delle quali sono indicate in fondo al testo.

Come è mia abitudine, cercherò di sintetizzare e di semplificare al massimo, non essendo possibile esaminare nei particolari ed in breve tempo la complessa teoria dei tuttala e freccia e di quelli **Horten** in particolare.

Il pensiero dei due fratelli tedeschi sui tuttala è caratterizzato da alcuni punti fondamentali:

- 1) *ala rastremata a freccia positiva* (cioè con le estremità piegate all'indietro); a questo proposito, quando si parla di freccia, occorre precisare a quale freccia si fa riferimento. Dalla **FIG.5** si vede che l'angolo di freccia può variare secondo la retta alla quale è riferito: *bordo d'attacco*, *linea focale*, *linea mediana* dell'ala.
- 2) *distribuzione a campana* della portanza lungo la semi-apertura alare. Con un'ala rettilinea, come nella maggior parte delle aerodine (aeroplano o aeromodello che sia), raramente si dà importanza alla distribuzione della portanza lungo l'ala. La posizione del *centro aerodinamico AC* lungo la semiala non viene mai presa in considerazione.

Per contro nell'ala a freccia questo dato è fondamentale in quanto influenza le condizioni di centraggio. Procediamo quindi per gradi, esaminando anzitutto come si arriva alla *distribuzione a campana*: non è indispensabile la conoscenza delle matematiche superiori. Procediamo a piccoli passi **FIG.6**):

a -- Su un asse orizzontale **y-y** riportiamo la due *semi-aperture* che formano l'*apertura alare b*, dopo aver scelto una scala conveniente secondo le dimensioni del modello da realizzare. Ad esempio per un'apertura **b = 200 cm** possiamo scegliere un rapporto di **1:5**. L'apertura alare sarà così rappresentata da un segmento di **40 cm**.

b -- Facciamo ruotare verso l'alto il *raggio 0 -1* del *quadrante destro*, in modo che disegni una *semi-circonferenza*, avendo descritto un *angolo piatto* di **180°**.

c -- Suddividiamo la semi-circonferenza in *sedici settori uguali*, ognuno avente un valore angolare di **180 :16 = 11,25°**.

d -- Numeriamo dall'**1** al **15** i punti della semi-circonferenza che delimitano i settori .

e -- Prendiamo in considerazione un punto qualsiasi della semi-circonferenza, per esempio il punto **P**, coincidente con il punto **4** (*quarto settore*).

f -- Tracciando da questo punto un segmento *verticale*, intersechiamo il raggio **0 -1** nel punto **B**.

g -- Le *coordinate* del punto **P** sono date da due semplici relazioni trigonometriche

$$Y_p = s * \cos \xi \text{ (leggasi } s \text{ moltiplicato coseno di } \xi \text{ csi)}$$

$$X_p = s * \sen \xi \text{ (leggasi } s \text{ moltiplicato seno di } \xi \text{ csi)}$$

h -- Se la lunghezza di ogni segmento **P -B** viene moltiplicata per un *fattore minore* di **1**, i segmenti più corti **P' - B** determinano una curva *convessa ellittica*, anziché una *semi-circonferenza*. Adottando invece – per esempio – diversi esponenti per il fattore **sen³ξ** si ottengono diversi valori della *distribuzione a campana*. A questo proposito, la **FIG.7** riporta una tabella preparata a suo tempo dal **Dr.Horten**, contenente i valori delle diverse funzioni dell'*angolo variabile* ξ , per il calcolo di *curve a campana* con diverso profilo. Evitando lunghe e discutibili disquisizioni teoriche, precisiamo che per applicazioni aeromodellistiche sembra conveniente la funzione **sen³ξ**. (Leggasi seno di ξ , csi, elevato al cubo).

Dobbiamo ora introdurre un concetto che è normalmente ignorato a livello aeromodellistico: la *circolazione locale*, fenomeno legato alla produzione di portanza, come ebbi modo di menzionare in una mia chiaccherata di qualche anno

fa in un precedente convegno FIAM.

Di solito contrassegnata con la lettera greca Γ (maiuscola), la *circolazione locale* viene definita come il prodotto della *locale corda geometrica* (in pratica la lunghezza di ogni centina o sezione alare) per il *locale coefficiente di portanza*, cioè

$$\Gamma = CL_n * c_n$$

In un diagramma ortogonale, mettendo come *ascisse* i diversi punti della semi-apertura alare e come *ordinate* i valori della *circolazione locale* si ottiene il grafico della distribuzione della portanza.

Se si assume, in via del tutto ipotetica, per CL_n un valore costante per tutta l'apertura, la distribuzione della portanza dipende unicamente dalle corde alari. Senza una preparazione specifica, non è agevole determinare la variazione di CL_n lungo la semi-apertura alare; il **Dr. Horten**, che era anche un eccellente matematico, se la cavava benissimo anche con le procedure di calcolo allora disponibili.

Ad esempio, con il procedimento *Multhopp (LUFO 38)* si trattava di un sistema di 15 equazioni con 15 incognite; più o meno lo stesso si verificava con svariati altri procedimenti di calcolo, di ideazione europea e americana.

Ponendo $\Gamma = CL_n * \sin \xi$ si ottiene una curva *ellittica*: è interamente *convessa* e – come insegna qualsiasi trattato di aerodinamica – assicura il più basso livello di *resistenza indotta*. E' da sempre la massima aspirazione quando si disegna un'ala rettilinea, qualunque sia la forma in pianta. Purtroppo ciò è concomitante con l'*inversione* degli alettoni, inconveniente che si corregge con un robusto differenziale.

Ponendo $\Gamma = CL_n * \sin^3 \xi$ si ottiene l'*auspicata curva a campana*: risulta *convessa* per circa il **70%**, quindi diventa *concava*. In questa parte si produce *deportanza*, (come normalmente avviene nello stabilizzatore orizzontale anche se munito profilo portante); anche azionando gli *elevoni*, di solito posizionati verso l'estremità alare, la porzione alare che produce portanza non viene disturbata, a differenza di quanto avviene nell'ala rettilinea.

In qualsiasi ala, normalmente l'incidenza decresce verso l'estremità, mentre il profilo gradualmente si trasforma in biconvesso simmetrico sottile, con calettamento finale uguale a zero (o quasi).

Si realizza così lo svergolamento *geometrico (diminuzione d'incidenza)* e svergolamento *aerodinamico (variazione del profilo)*.

Il *centro aerodinamico AC* (o *fuoco*) di ogni profilo si trova press'a poco al **25%** della corda; in *assenza di svergolamento* si trova, press'a poco, al **25%** della *corda media geometrica $\underline{c}$* dell'ala. Per comodità di ragionamento assumiamo che in questo punto sia applicata la risultante aerodinamica della semi-ala.

Il sopracitato svergolamento avvicina **AC** alla mezzeria dell'ala, dato che verso l'estremità la portanza decresce: in pratica **AC** si viene a posizionare sulla *corda media aerodinamica MAC*. Nella semi-ala destra – ad esempio – **MAC** si trova sempre alla sinistra di $\underline{c}$. Quest'ultima infatti non è altro che la *corda media geometrica*.

Evitando una montagna di passaggi e considerazioni, mi limito a ricordare che l'ascissa di **MAC** è tipicamente $Y_{AC} = 0,42 s$ nel caso di distribuzione *ellittica* della portanza. Diventa invece $Y_{AC} = 0,33 s$ nel caso della distribuzione *a campana*, come indicato nella **FIG.5**. In essa **AC_c** indica il fuoco con distribuzione *a campana*, **AC_E** indica il fuoco con distribuzione *ellittica*.

Non esiste una formuletta magica per determinare facilmente , in ogni caso, la posizione esatta di **AC**, secondo il tipo di distribuzione, *ellittica* oppure *a campana*. Questa posizione infatti dipende dal rapporto di rastremazione, dalla freccia, dal tipo di distribuzione della portanza, dallo svergolamento totale.

La posizione di **AC** è fondamentale nell'ala a freccia positiva. Infatti sappiamo – da qualsiasi testo di aerodinamica applicata – che, per la *stabilità longitudinale* è indispensabile che il *baricentro CG* si trovi **sempre** anteriormente al *centro aerodinamico AC*, in qualsiasi assetto di volo.

La distanza tra i due punti viene definita *margin statico SM*: di solito oscilla tra il **5%** ed il **10%** della *corda media c*.

Assumendo che la distribuzione sia *ellittica*, **AC** si viene a trovare molto arretrato: con **CG** sistemato poco più avanti, il tuttala risulta quasi sempre *cabrato*, richiedendo una robusta dose di zavorra sul muso. Se quest'ultima supera il **10%** del peso totale, c'è qualcosa da rivedere nel progetto o nella costruzione.

3) *Cuspide*: molti tuttala realizzati dagli **Horten** sono caratterizzati da una cuspide, più o meno marcata, in corrispondenza della mezzeria alare. L'esempio più significativo è costituito dall'**H IX (FIG.8)** che era stato progettato per contrastare il letale *Mosquito* britannico: una piccola serie di 40 esemplari era in costruzione alla fine della guerra, mentre diverse varianti erano in fase di sviluppo.

Questo accorgimento era stato ideato per controllare un problema che aveva preoccupato gli **Horten** sin dalle loro prime realizzazioni: il cosiddetto

"mitteneffekt" (così lo avevano battezzato). Si trattava di una diminuzione di portanza in corrispondenza della mezzeria alare, dovuta – forse – alla

formazione di vortici nel punto dove il flusso si divide per andare verso le estremità alari. Aumentando la corda alare verso la mezzeria, l'inconveniente

scompare. Su questo argomento i pareri degli esperti aerodinamici sono

discordi: qualcuno addirittura sostiene che la riduzione di portanza in mezzeria era solo apparente, dovuto ai procedimenti di calcolo usati dagli **Horten**.

Vi faccio grazia della mia spiegazione empirica del fenomeno (riportata nel **Rif.1**), ma vi sottopongo una semplice riflessione.

Prendiamo in considerazione un'ala rettilinea: sappiamo che sul ventre il flusso tende impercettibilmente a spostarsi verso le estremità, mentre sul dorso tende a dirigersi verso la mezzeria. Le correnti di flusso, incontrandosi al bordo d'uscita danno origine alla coltre vorticoso ogni ala si lascia dietro.

Non appare quindi illogica l'ipotesi che questo fenomeno possa essere ingigantito dalla freccia: infatti il cuneo sul bordo d'attacco in mezzeria dà inizio allo scorrimento laterale del flusso.

Ricordiamo incidentalmente che questo scorrimento riduce il valore effettivo del coefficiente di portanza alare, secondo il *coseno dell'angolo di freccia*.

In altri termini, se l'*angolo di freccia* φ è di **30°**, un ipotetico *coefficiente di portanza* **CL = 1** si riduce a **0,86** circa.

La **FIG.9** mostra l'andamento tipico delle due curve di distribuzione della portanza, *ellittica* ed *a campana*: in entrambi i casi la presenza di una fusoliera, sia pure di ridotte dimensioni, annulla la formazione di portanza in corrispondenza della mezzeria alare.

A livello modellistico, se si intende realizzare una autentica distribuzione *a campana*, la difficoltà maggiore è costituita dalla necessità di calcolare i valori

del *coefficiente locale di portanza* CL_n , nelle diverse stazioni lungo la semi-apertura alare. Infatti non esistono sistemi semplici, che richiedano solo qualche calcoletto elementare: per contro sono stati approntati diversi programmi informatici.

Un programma tedesco, che è molto usato da aeromodellisti e da costruttori amatoriali di aeroplanetti, è indicato al **Rif.3**.

Con questo programma è stata calcolata tutta la parte aerodinamica del PUL 10, un efficiente ($L/D=23$) biposto amatoriale (**FIG.10**), costruito da appassionati Italiani facenti parte dell'**Horten Aircraft Team**. La **FIG.11** ne mostra la distribuzione a campana, mentre la **FIG.12** mostra la pianta alare, con tutti i parametri necessari per una eventuale riproduzione radioguidata.

Dalle riviste aeromodellistiche si apprende che parecchi costruttori hanno realizzato riproduzioni in scala di tuttala **Horten**, mentre sono decisamente scarsi quelli che hanno progettato tuttala ex-novo, secondo i criteri **Horten**.

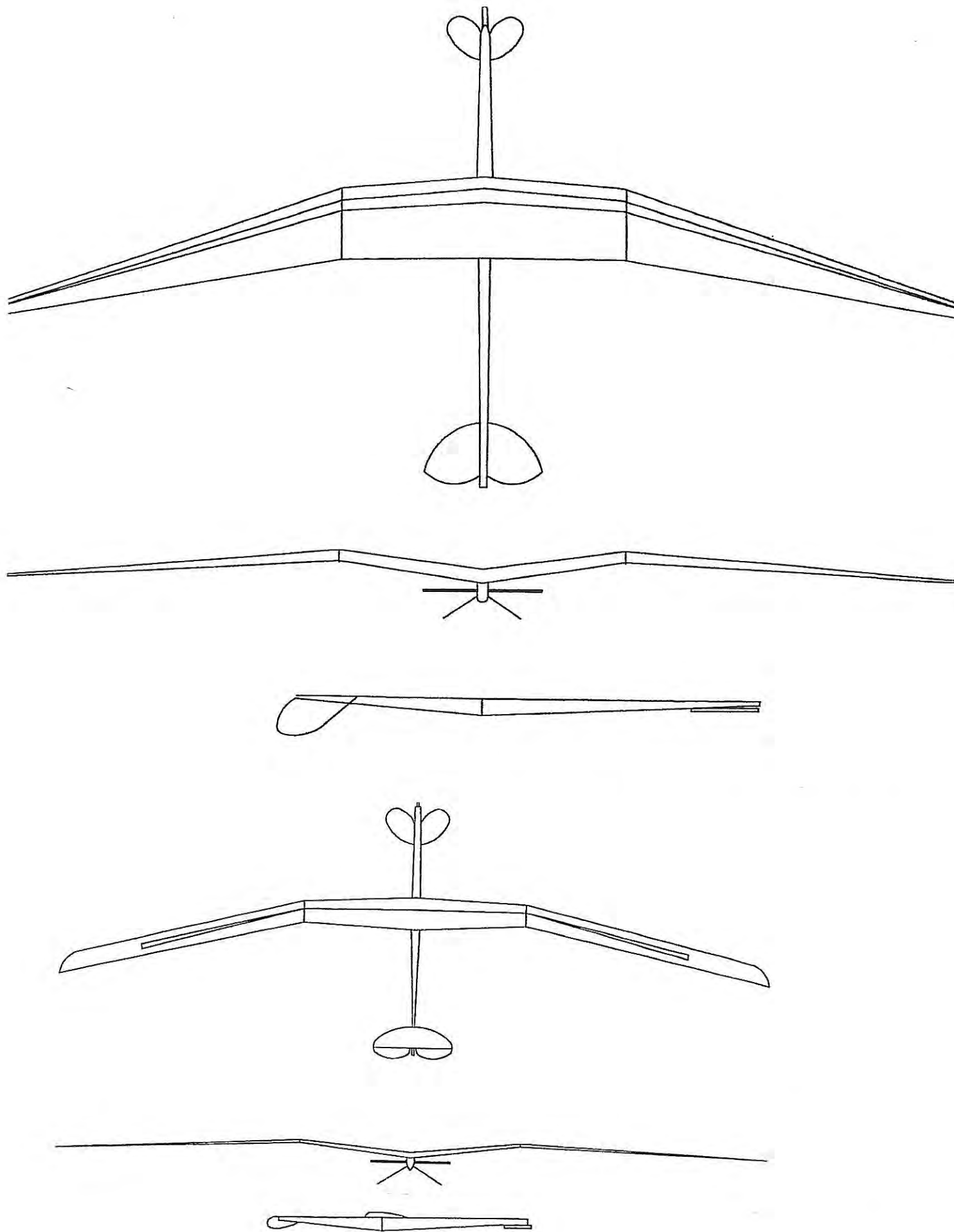
Uno di questi, il milanese *Alberto Dotti* ha realizzato il **CIR (FIG.13)**; la relativa *curva a campana*, eseguita mediante interpolazioni successive, è indicata nella **FIG.14**.

A conclusione di questa breve panoramica, va ricordato che anche nei tuttala tipo **Horten** l'efficienza aerodinamica aumenta quando aumenta l'allungamento **AR**. Questa tendenza è rappresentata nella **FIG.15**: ad esempio, per un veleggiatore **Horten** avente $AR=8$ è logico ipotizzare $E=L/D=15+ (0.95*8)=22,6$.

Ferdinando Galè

RIFERIMENTI

- 1) TUTTALA HORTEN, F.Galè, 2007, La Bancarella Aeronautica, Torino-Milano
- 2) CONFIGURAZIONE TUTTALA, F.Galè, 1994, La Bancarella Aeronautica, Torino-Milano
- 3) NURFLUEGELBERECHNUNG, Vers.2.25, E-mail herbert.stammer@nurflugel.de
- 4) COMPENDIO SUL PUL 10, O.Carriero, 2007



Evoluzione degli aeromodelli Horten
Sopra: Settembre 1931
Sotto: Gennaio 1932

FIG.1 / 15

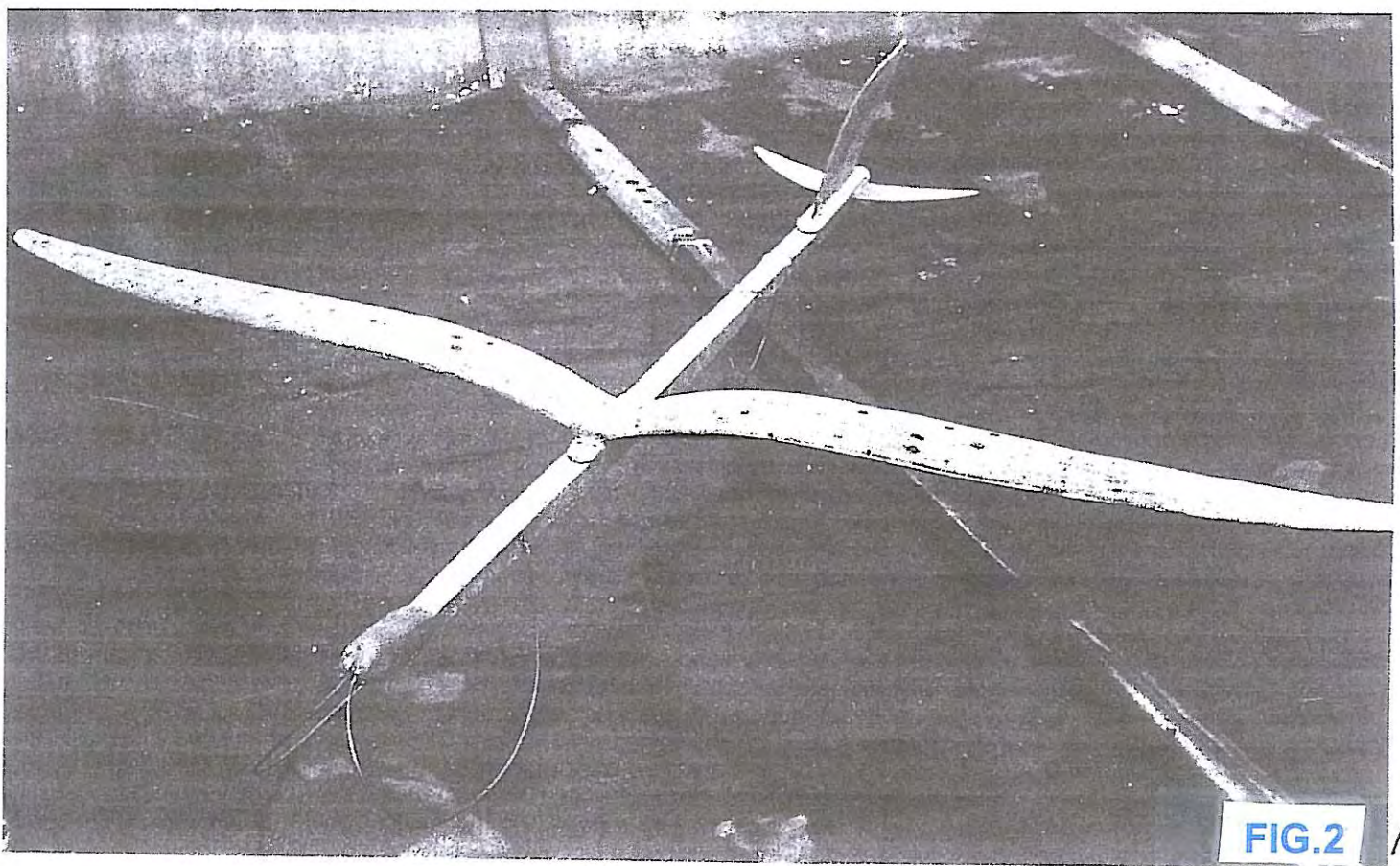


FIG.2

15

Uno dei primi modelli Horten (~1926): notare l'elevatissimo allungamento ed il curioso pattino in fil di ferro. Sovente gli atterraggi avvenivano su terreno sassoso.



FIG.3

/15

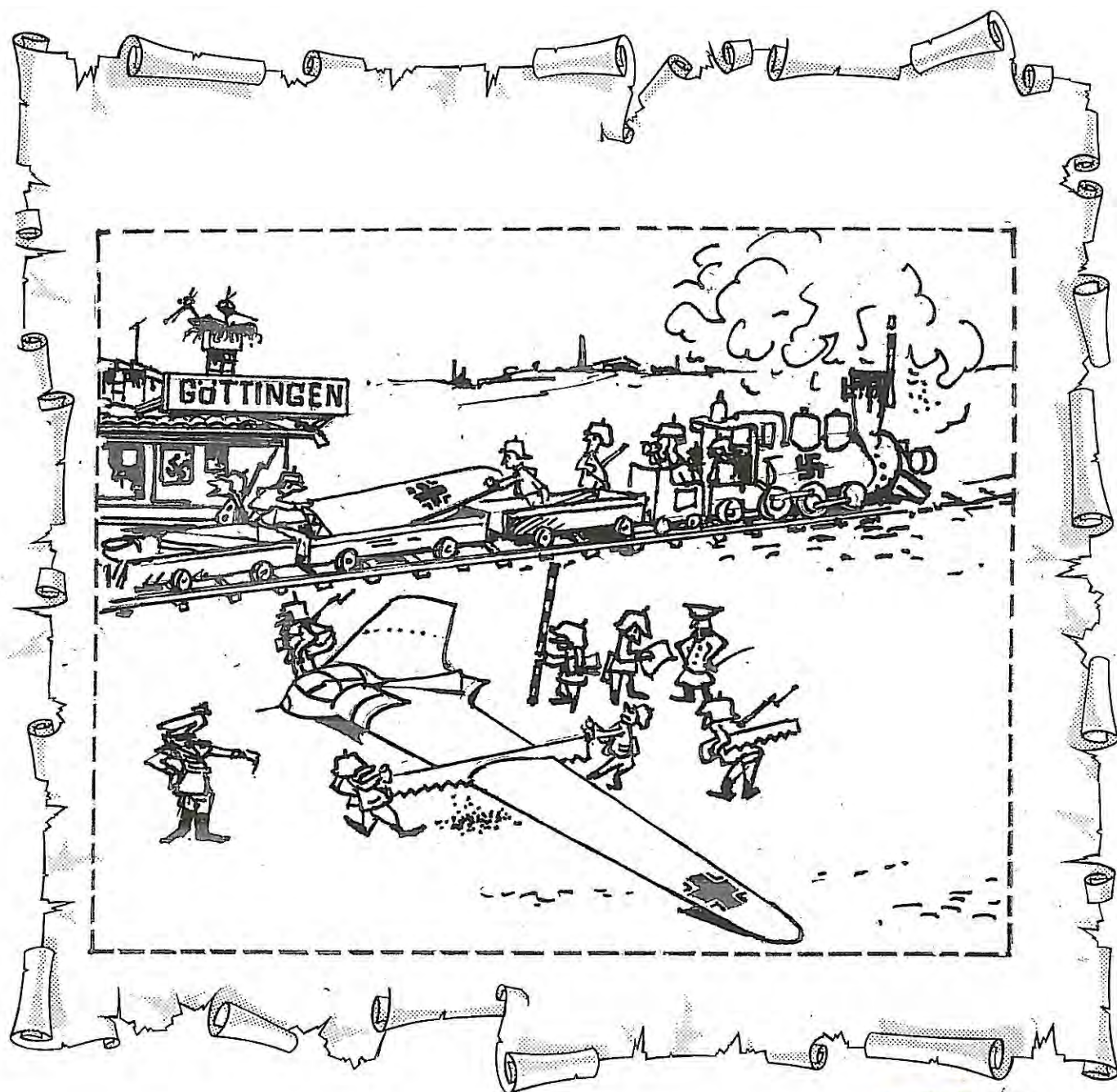


FIG.4 /15

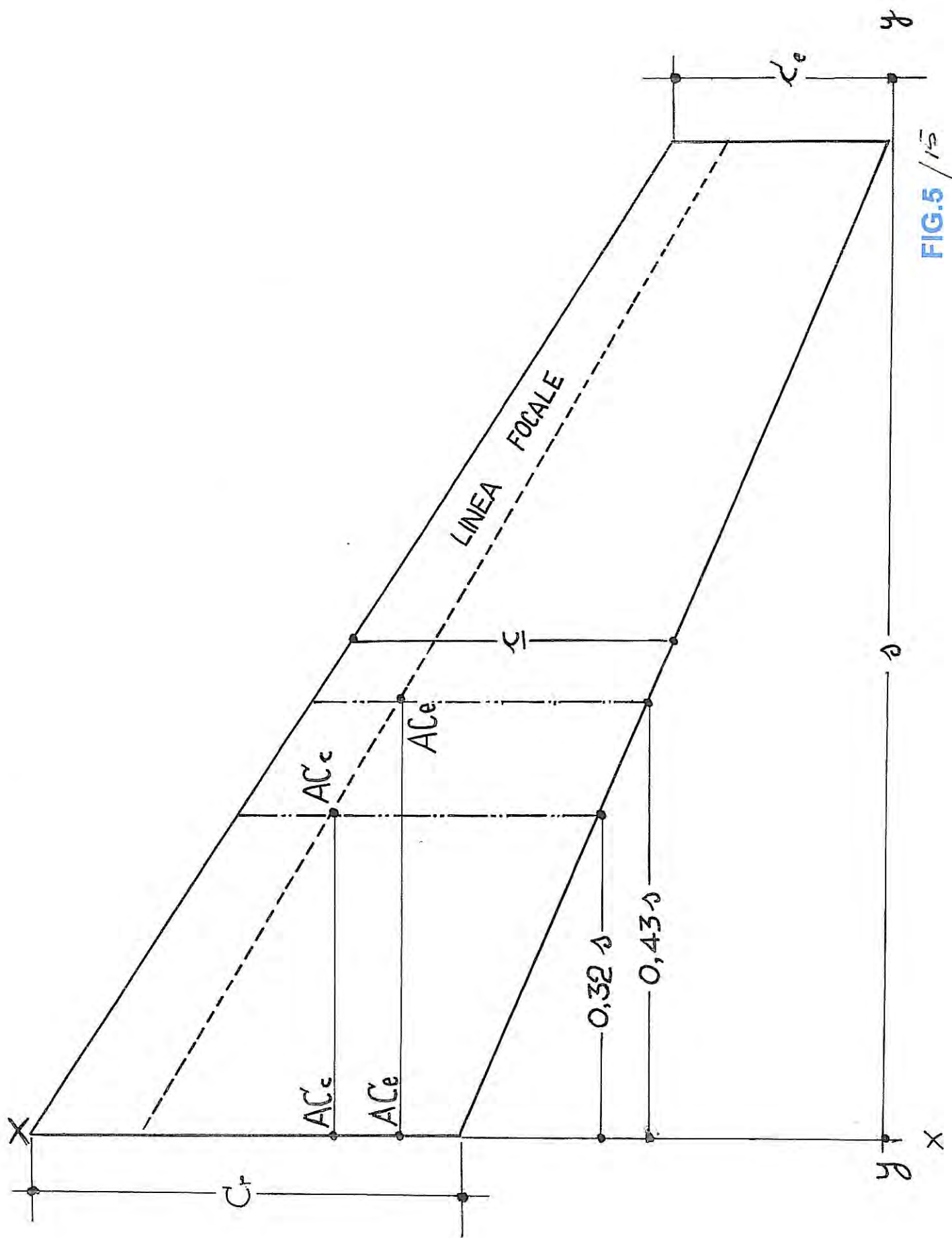


FIG.5 / 15

$$y_P = r \cdot \cos \xi$$

$$x_P = r \cdot \sin \xi$$

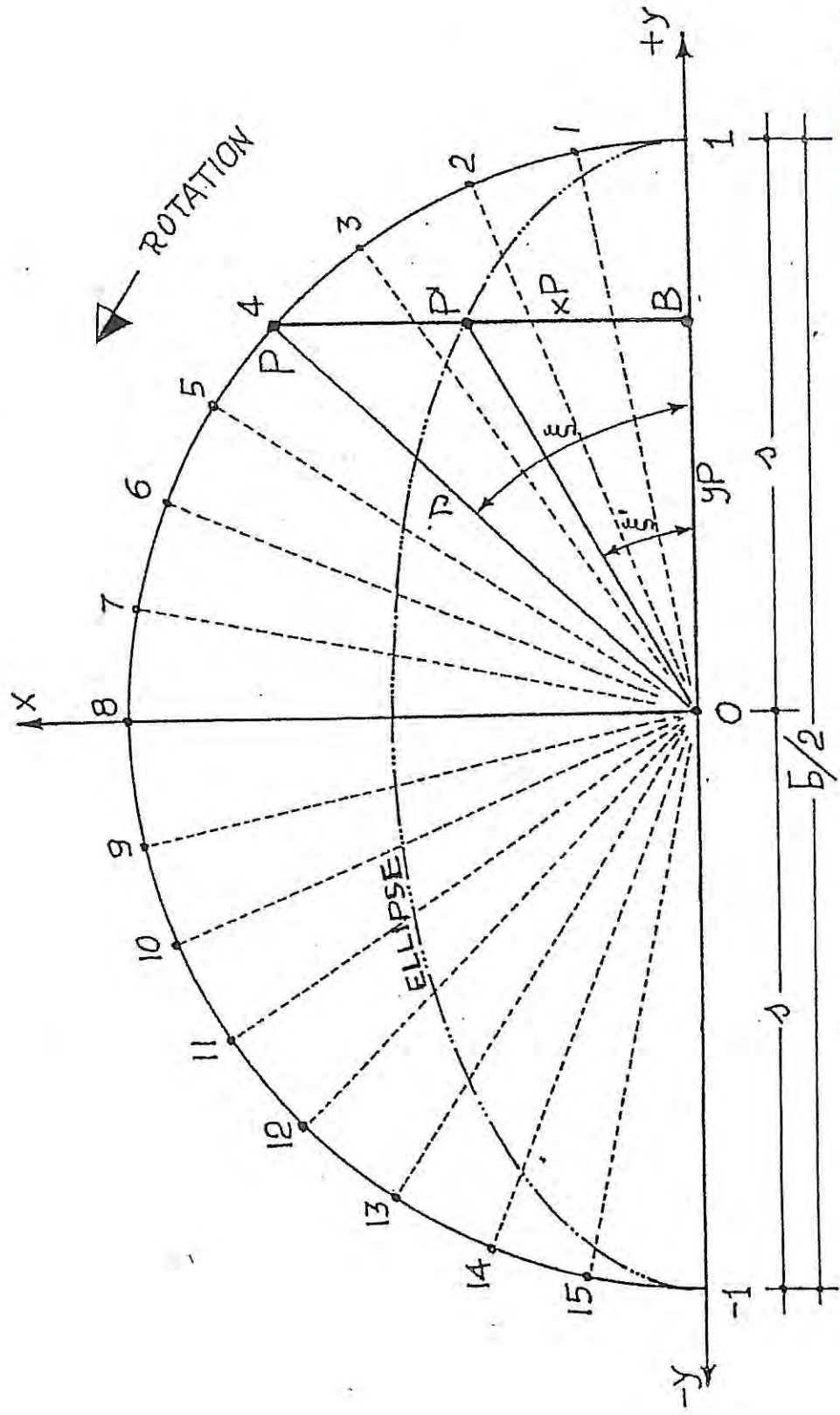


FIG.6 / 15

$P=\xi$	y_P	$\cos \xi$	$\sin \xi$	$\sin^3 \xi$	$\sin^4 \xi$	$\sin^3 \xi * \sin^4 \xi$	$\sin^2 \xi$	$\sin^{2,5} \xi$
8=90°	0,9808	1	0	0	0	0	0	0
7=78,54°	0,1915	0,19509	0,98078	0,94344	0,92531	0,36104	0,38268	0,95264
6=67,32°	0,3827	0,38268	0,92388	0,78858	0,72885	0,55761	0,70711	0,82042
5=56,25°	0,5556	0,5557	0,83147	0,57483	0,47795	0,53107	0,92388	0,63040
4=45°	0,7071	0,70711	0,70711	0,35556	0,25000	0,35356	1	0,42045
3=33,75°	0,8315	0,83147	0,55557	0,17148	0,09527	0,15843	0,92388	0,23006
2=22,5°	0,9239	0,92388	0,38268	0,05604	0,02145	0,033963	0,70711	0,09059
1=11,25°	0,9808	0,98078	0,19509	0,00743	0,00145	0,00284	0,38268	0,01681

N.B. Nella prima colonna sono riportati gli otto punti P con i relativi valori angolari in gradi.
 Nella seconda colonna sono riportate le ascisse (y_P) dei punti P, misurate a partire dallo O.
 Nelle altre colonne sono indicati i valori dei coefficienti trigonometrici per calcolare i diversi tipi di distribuzione a campana della portanza.

FIG.7 / 15

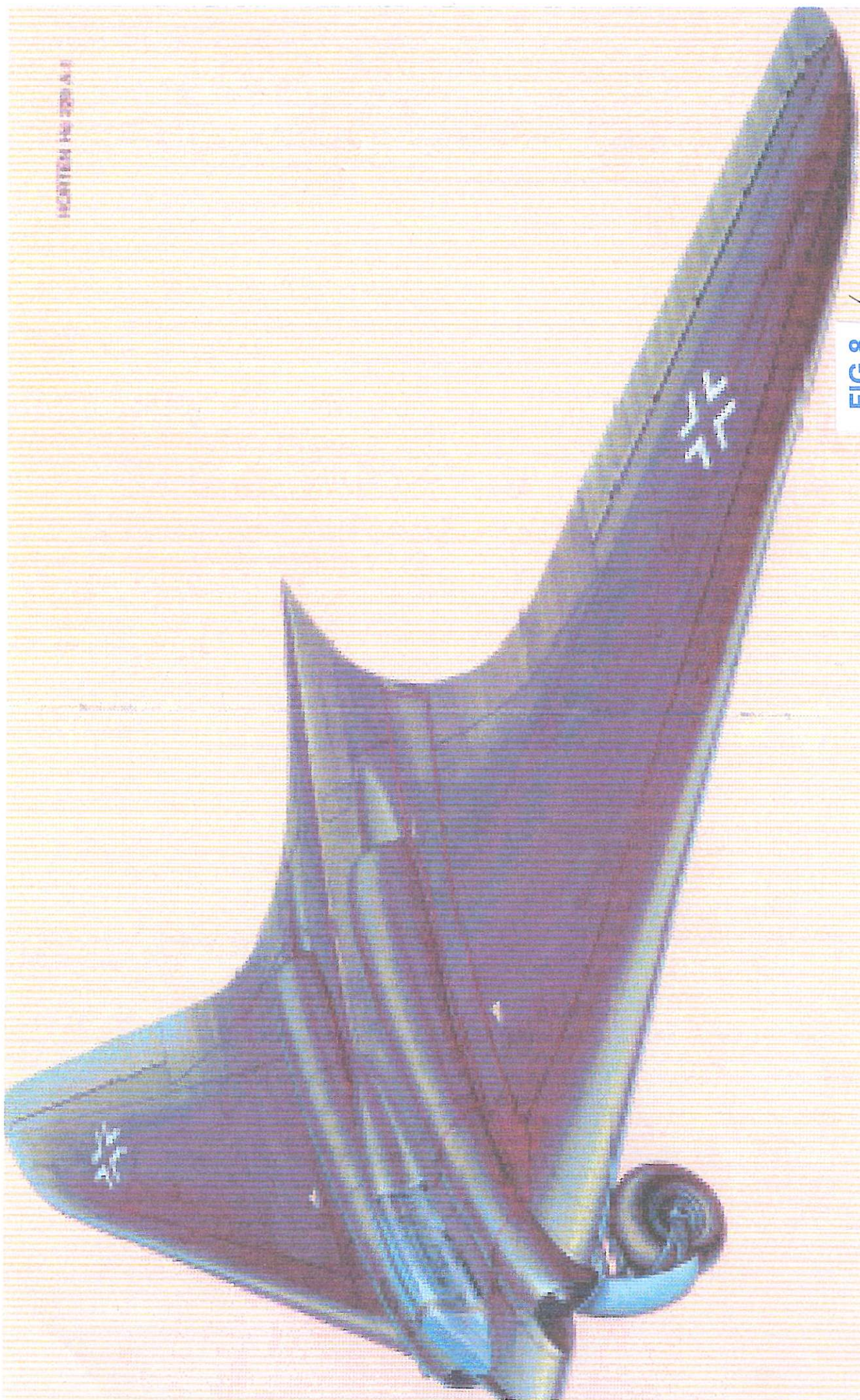
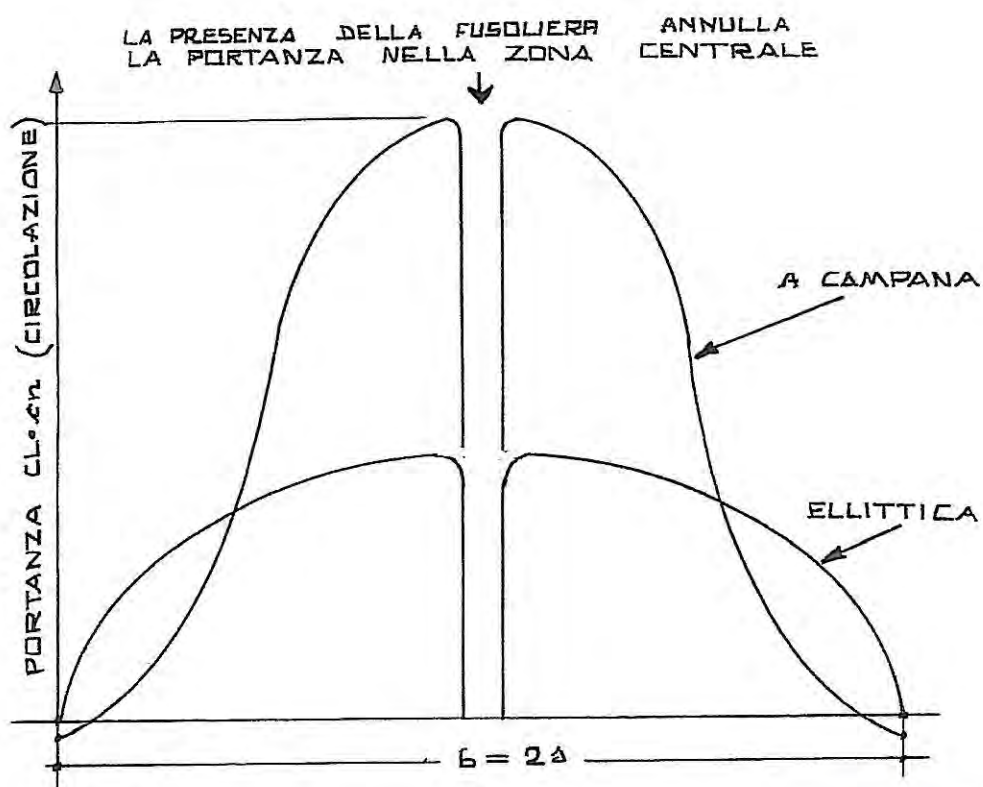


FIG. 8



Distribuzione reale e teorica della portanza

FIG.9 /15

PUL-10



FIG.10

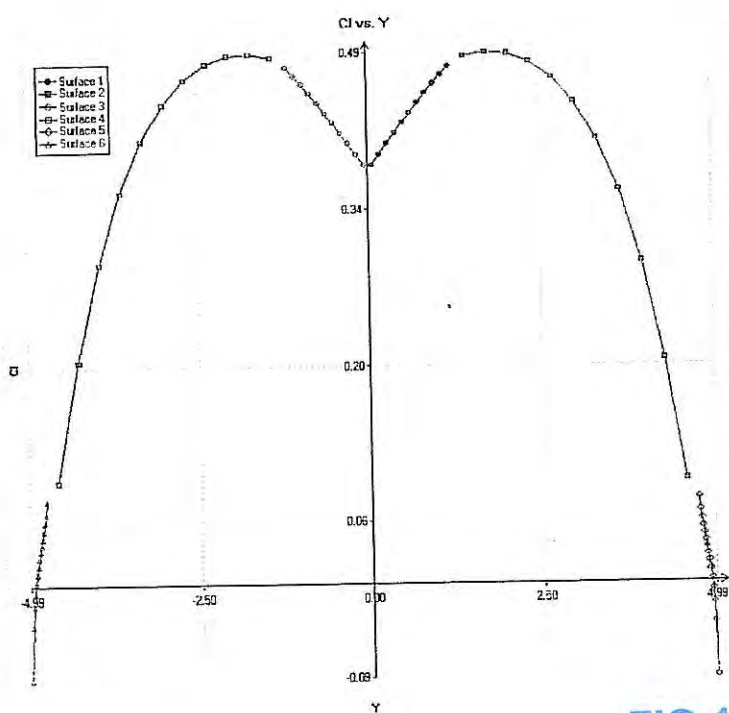


FIG.11 / 15



FIG.13 / 15

Tuttala radioguidato "CIR" tipo Horten (Alberto Dotti, Milano).

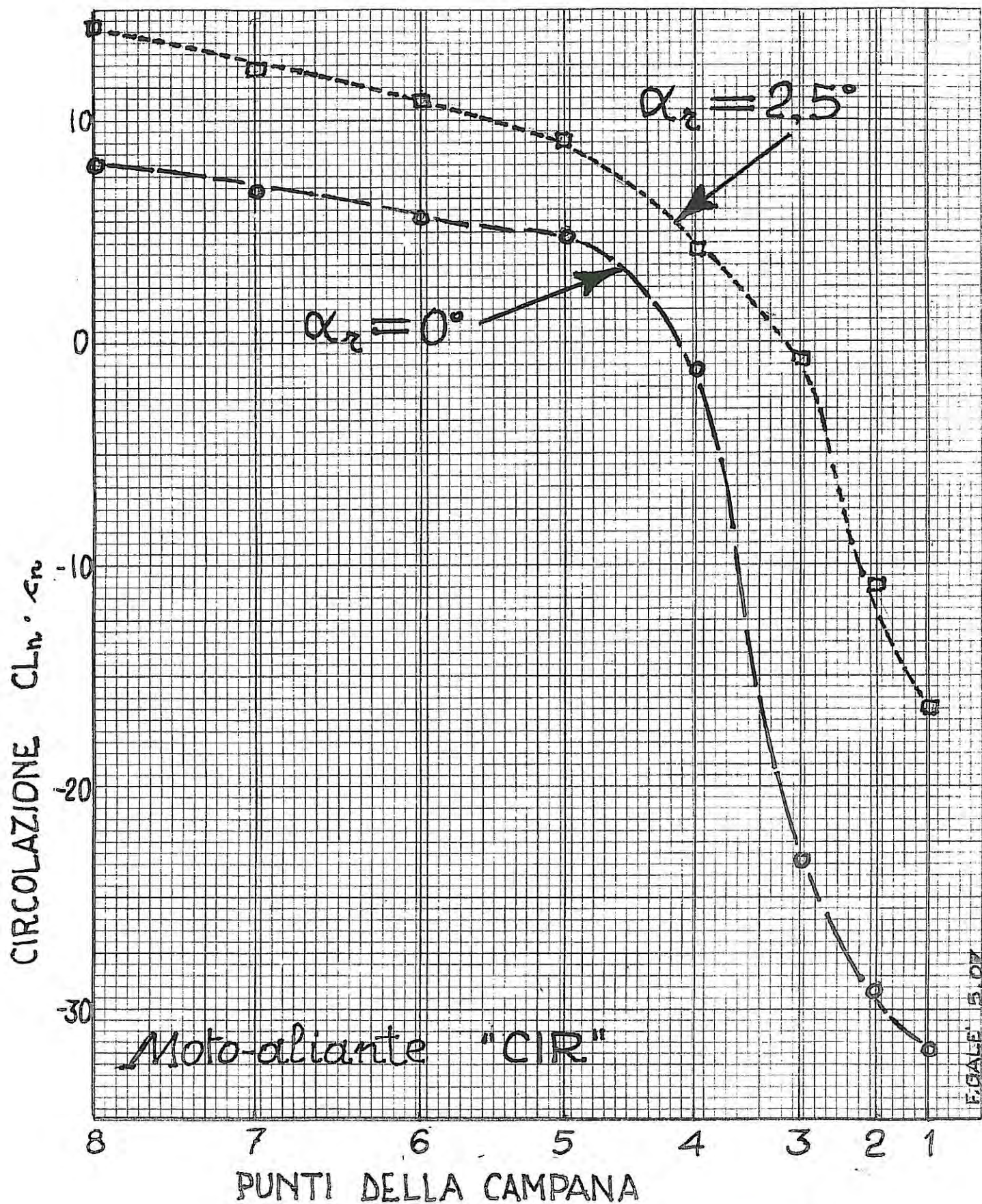
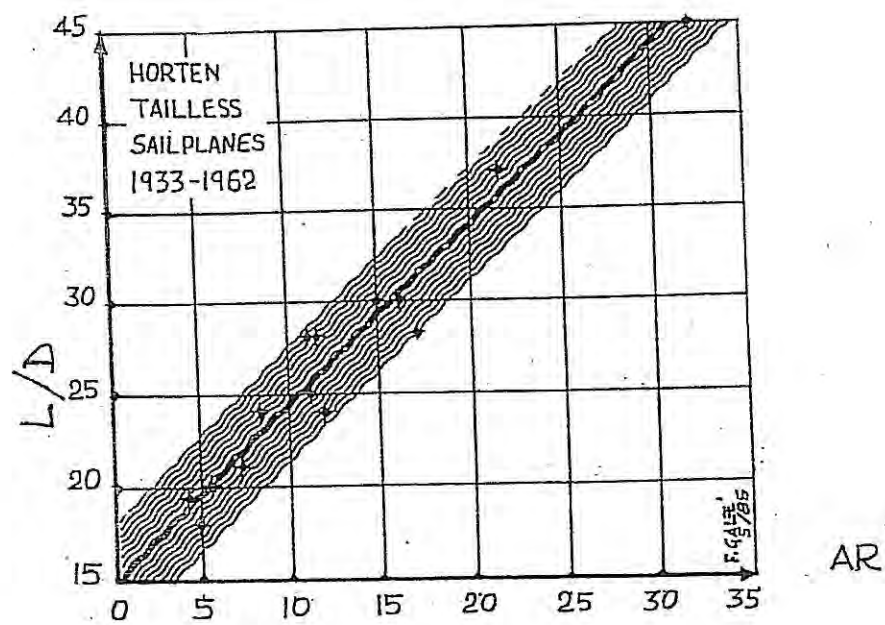


FIG.14 /15



Efficienza aerodinamica dei tuttala Horten: tendenza tipica

FIG.15 / 15

UN CILINDRO, IMMERSO IN UNA CORRENTE LINEARE (A) PRODUCE SOLO RESISTENZA.

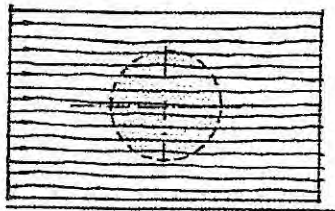
LO STESSO AVVIENE IN UNA CORRENTE CIRCOLATORIA (B) COMBINANDO I DUE MOVIMENTI (PER ESEMPIO FACENDO RUOTARE IL CILINDRO NELLA CORRENTE LINEARE) SI CREA UNA FORZA DIRETTA VERSO L'ALTO (PORTANZA).

CON IL PROCEDIMENTO KUTTA-JOUKOWSY ("MAPPATURA CONFORME") DAL CILINDRO RUOTANTE SI DERIVANO I PROFILI AERODINAMICI, COSI' COME LI CONOSCIAMO.

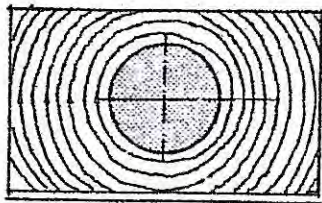
CIO' E' PARTE DEL CONCETTO DI LINEA DI PORTANZA E COLLEGATI VORTICI ROTATORI, DOVUTO AL TEDESCO LUDWIG PRANDTL, CHE LO ENUNCIO' NEL 1818.

ESSENDO UN CONCETTO DIFFICILE DA COMPRENDERE SENZA UNA ADEGUATA PREPARAZIONE SPECIFICA, L'INGEGNERE TEDESCO JOCHEN SCHNEIDER, NEL 1986, PRESENTO' SULLA RIVISTA FMT (n°2-1986) UNA SPIEGAZIONE GRAFICA DI IMMEDIATA PERCEZIONE.

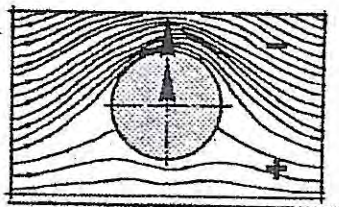
IL CAMPO DEI VORTICI (1) PUO' ESSERE ASSIMILATO AD UN SISTEMA DI ASSI ED INGRANAGGI (2): LA ROTAZIONE IN SENSO ORARIO DELL'ASSE ALARE (LINEA DI PORTANZA) COMPORTA LA ROTAZIONE IN SENSO OPPOSTO IN CODA (DEPORTANZA) NONCHE' LA ROTAZIONE SPECIFICA DEI VORTICI LIBERI.



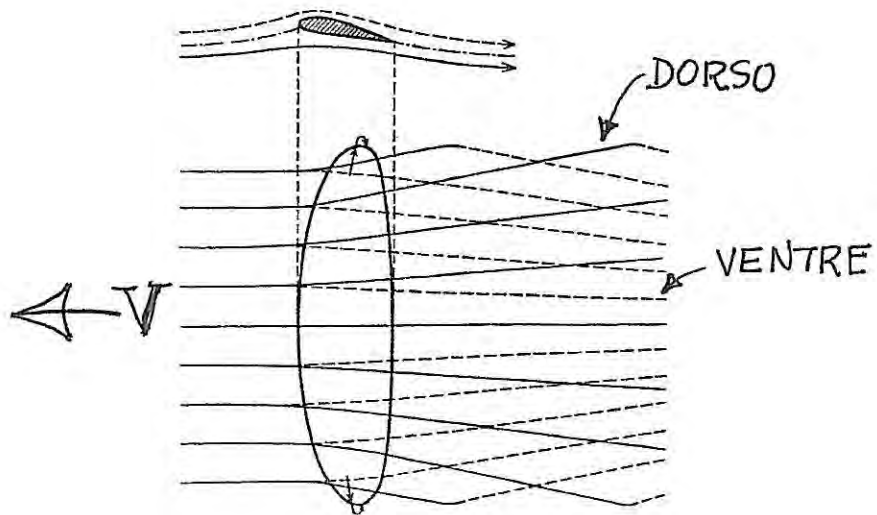
A



B



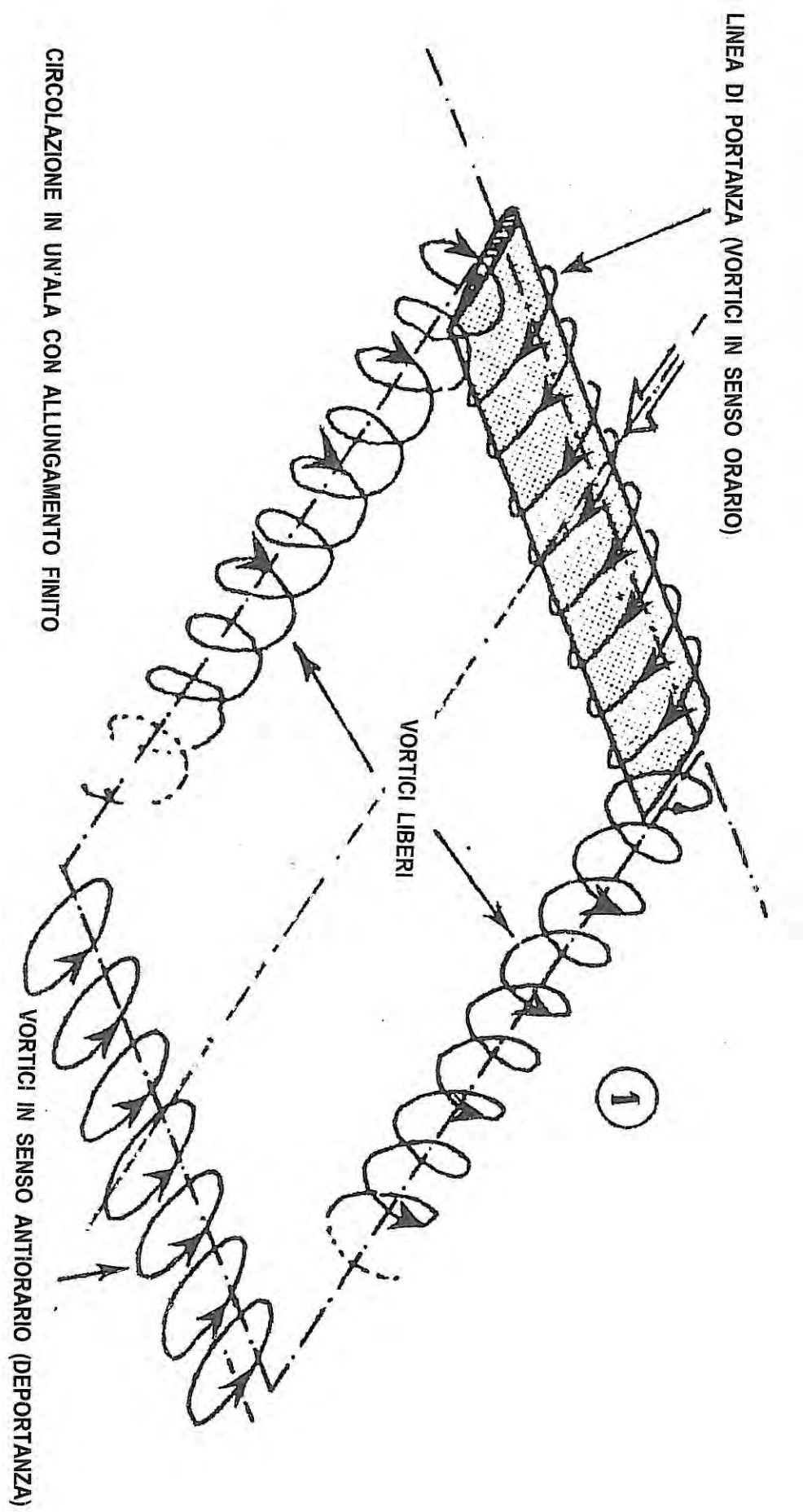
C

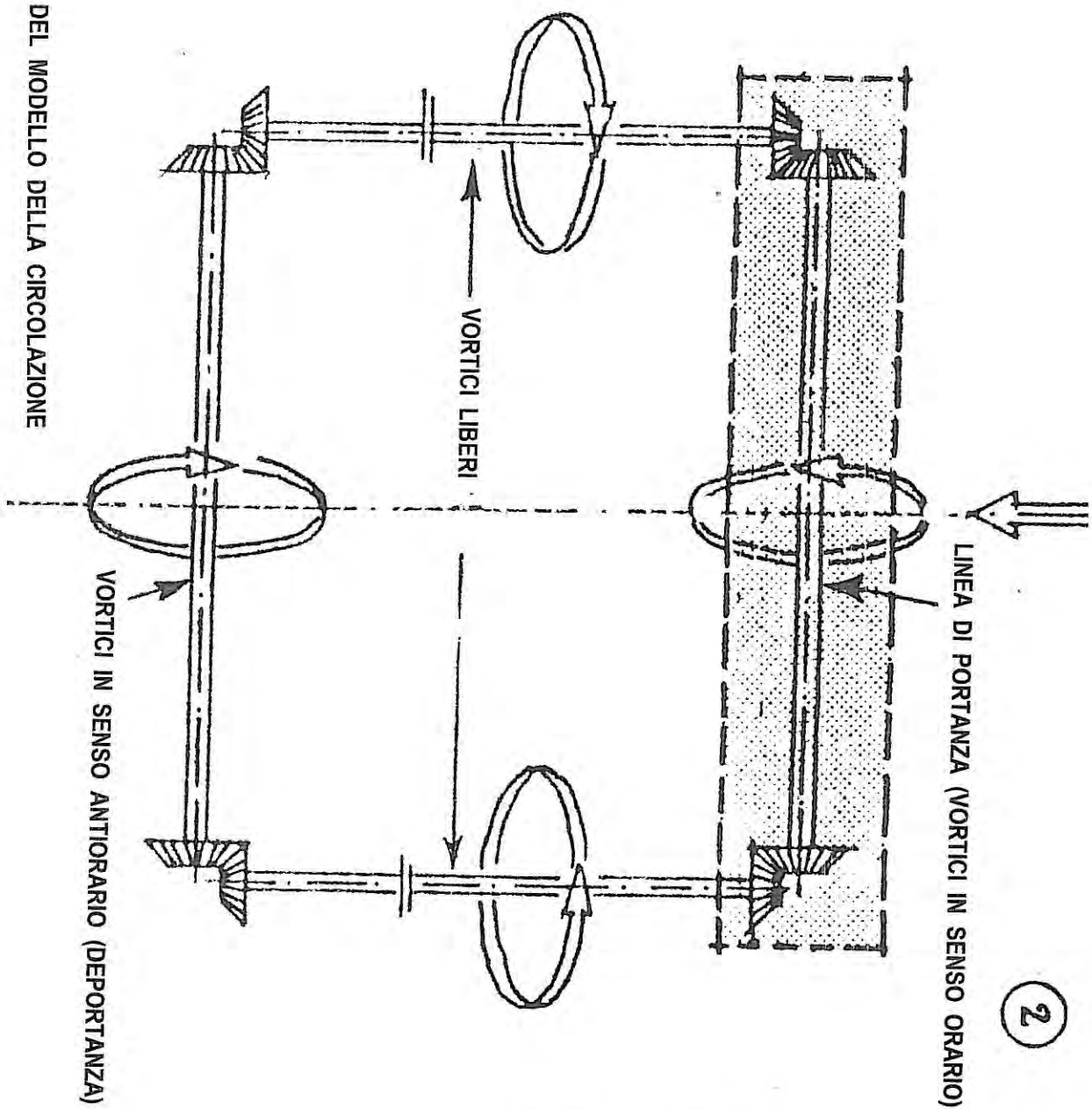


SUL DORSO LE LINEE DI FLUSSO DEVIANO VERSO LE ESTREMITA'

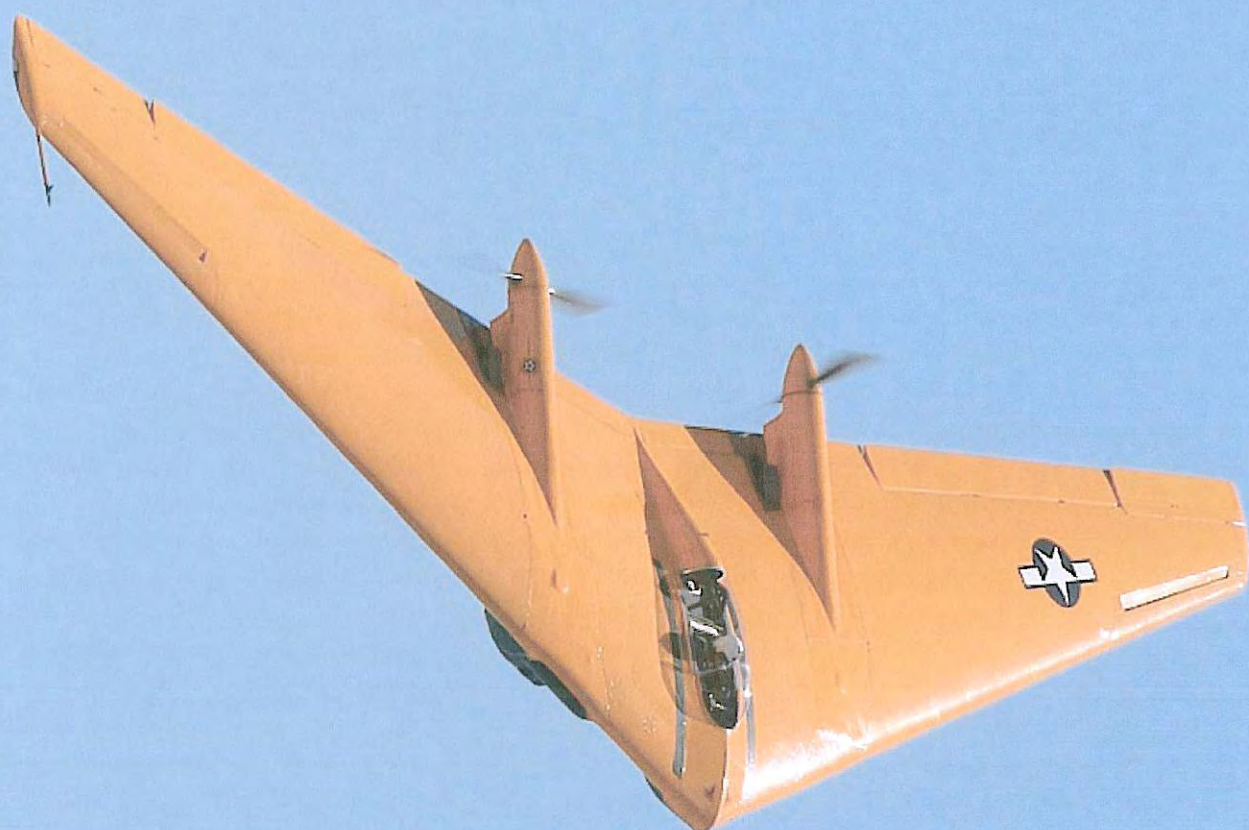
SUL VENTRE DEVIANO VERSO LA MEZZERIA ALARE

Da *"FUNDAMENTALS OF HYDRO- AND AEROMECHANICS"*
(Prandtl – Tietjens) Fig.164, Pag.221

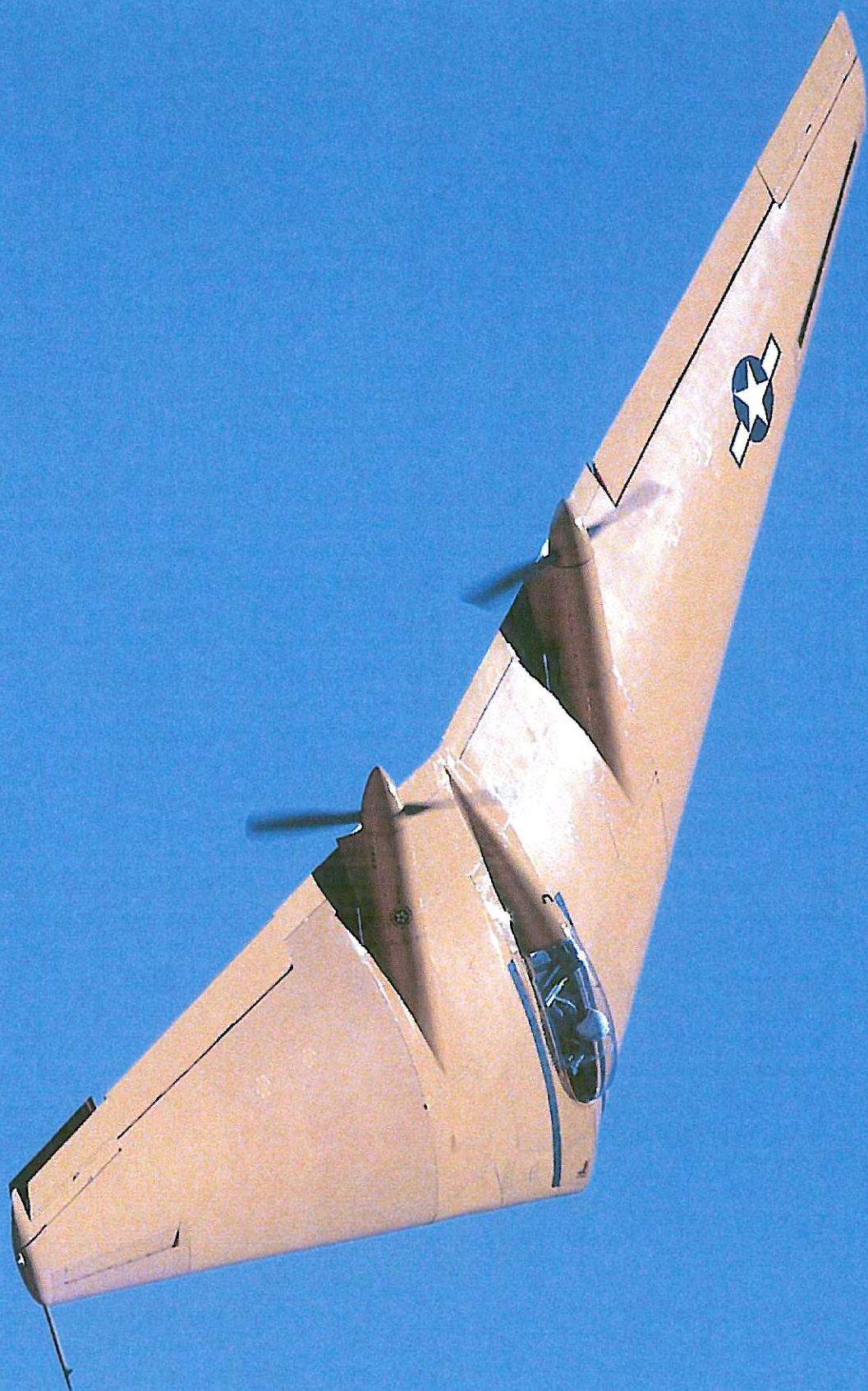




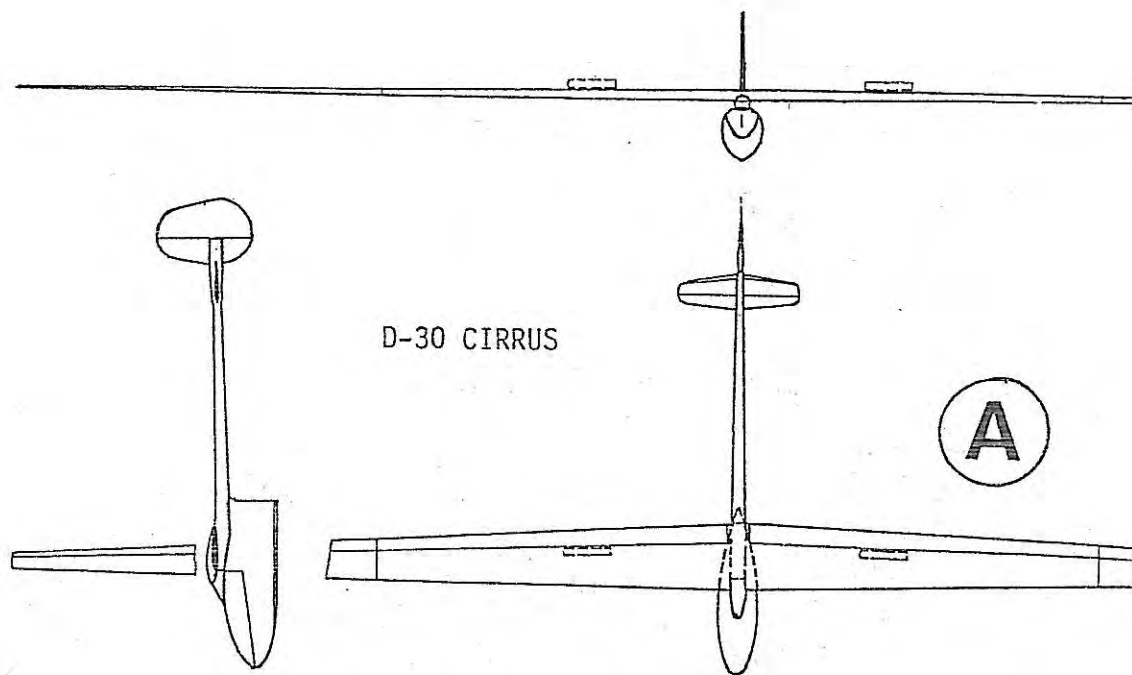
ANALOGIA MECCANICA DEL MODELLO DELLA CIRCOLAZIONE



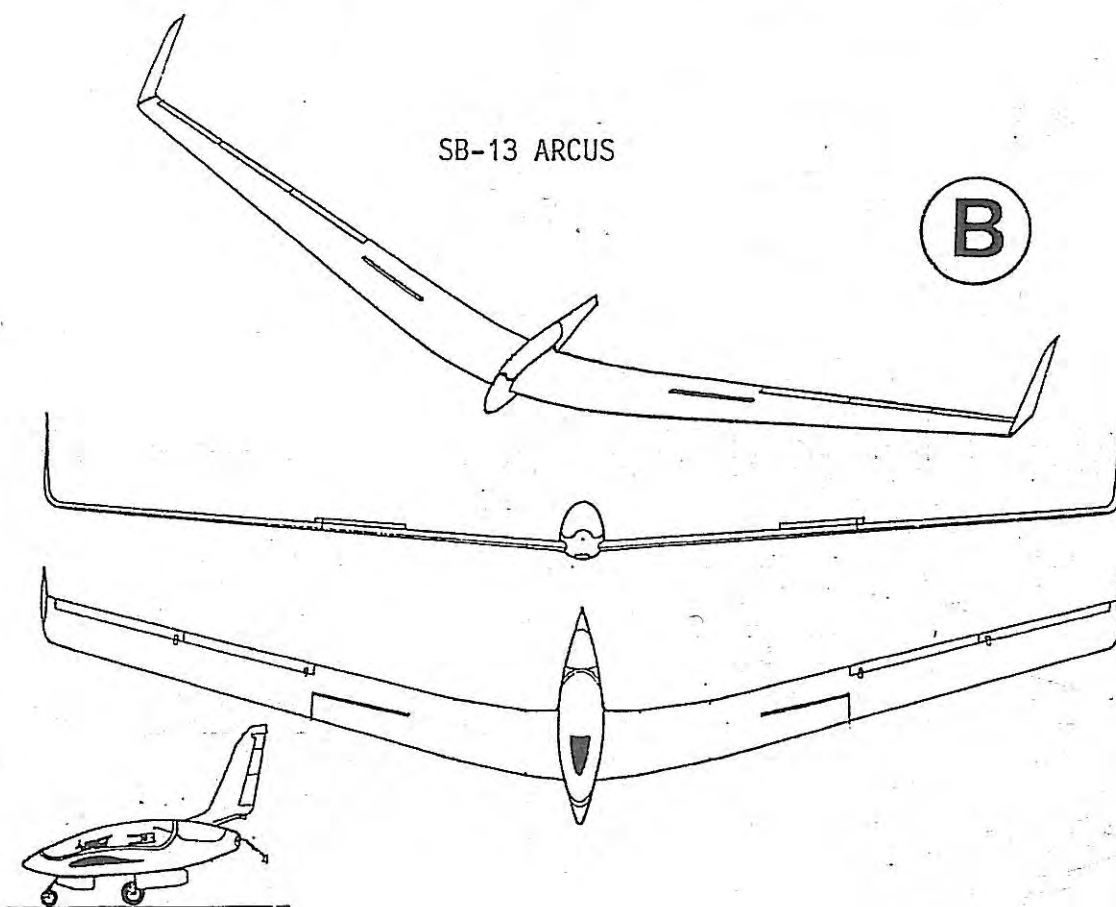
All s - 6/16

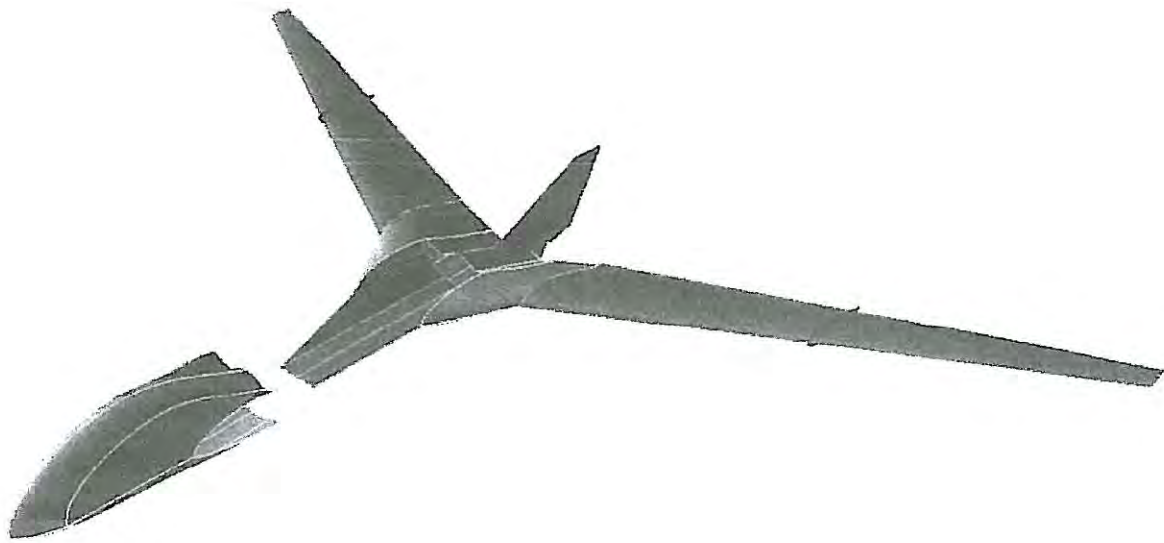


All 1 - 7/16



The outer panels of the Darmstad D-30 CIRRUS could be deflected downwards (about 5 degrees) for thermalling, thus realizing a gull wing dihedral, as well as upwards (about 20 degrees), for speeding up.



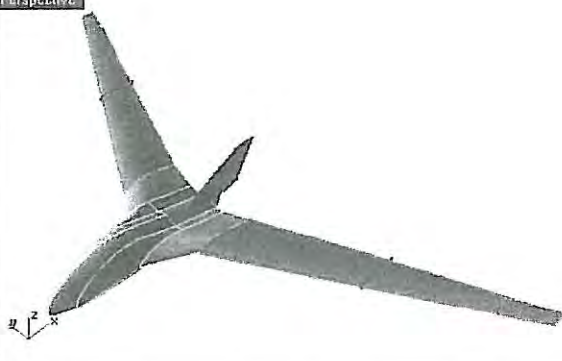


Top



y
x

Perspective



y
z
x

Front



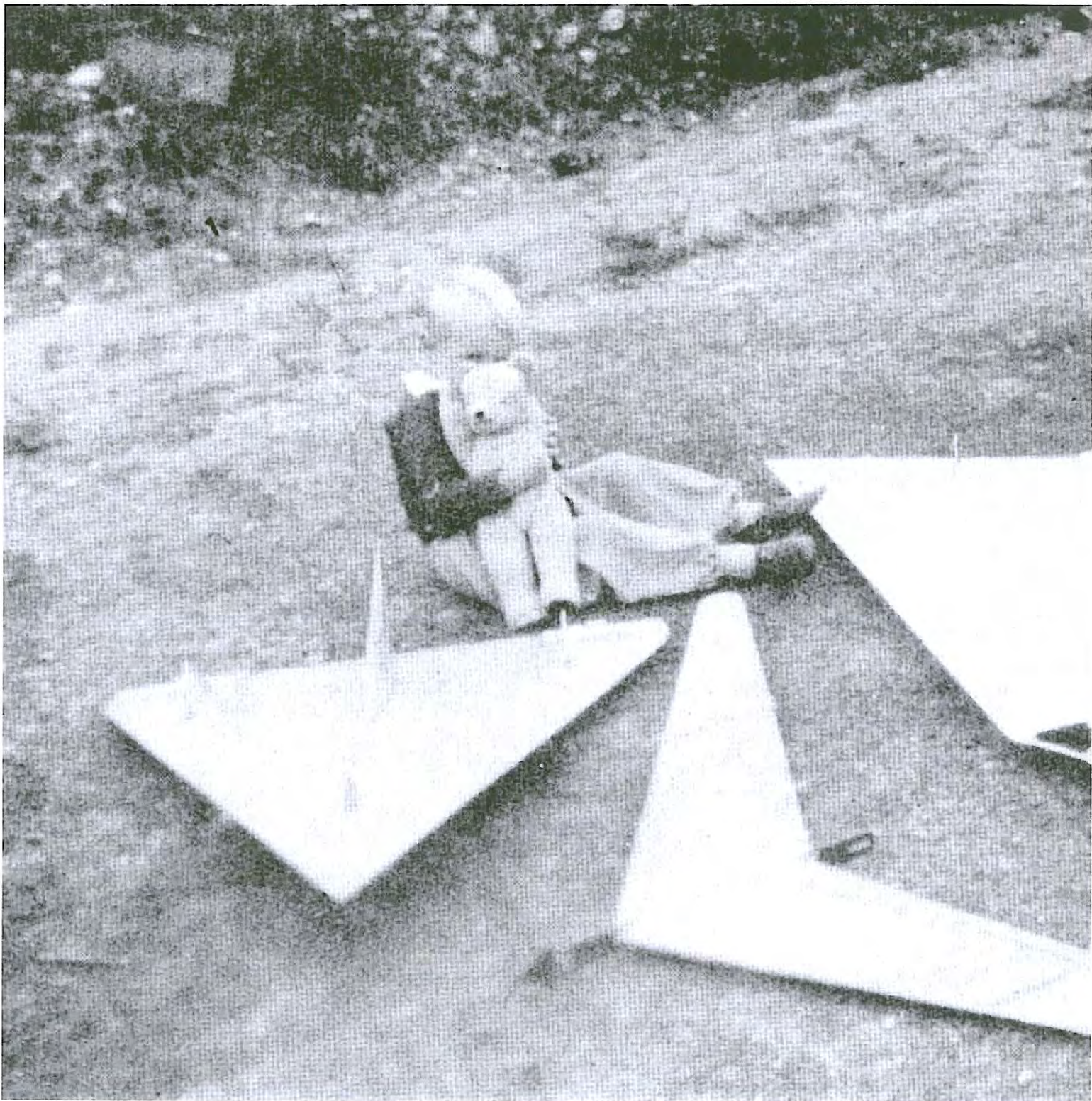
z
x

Side

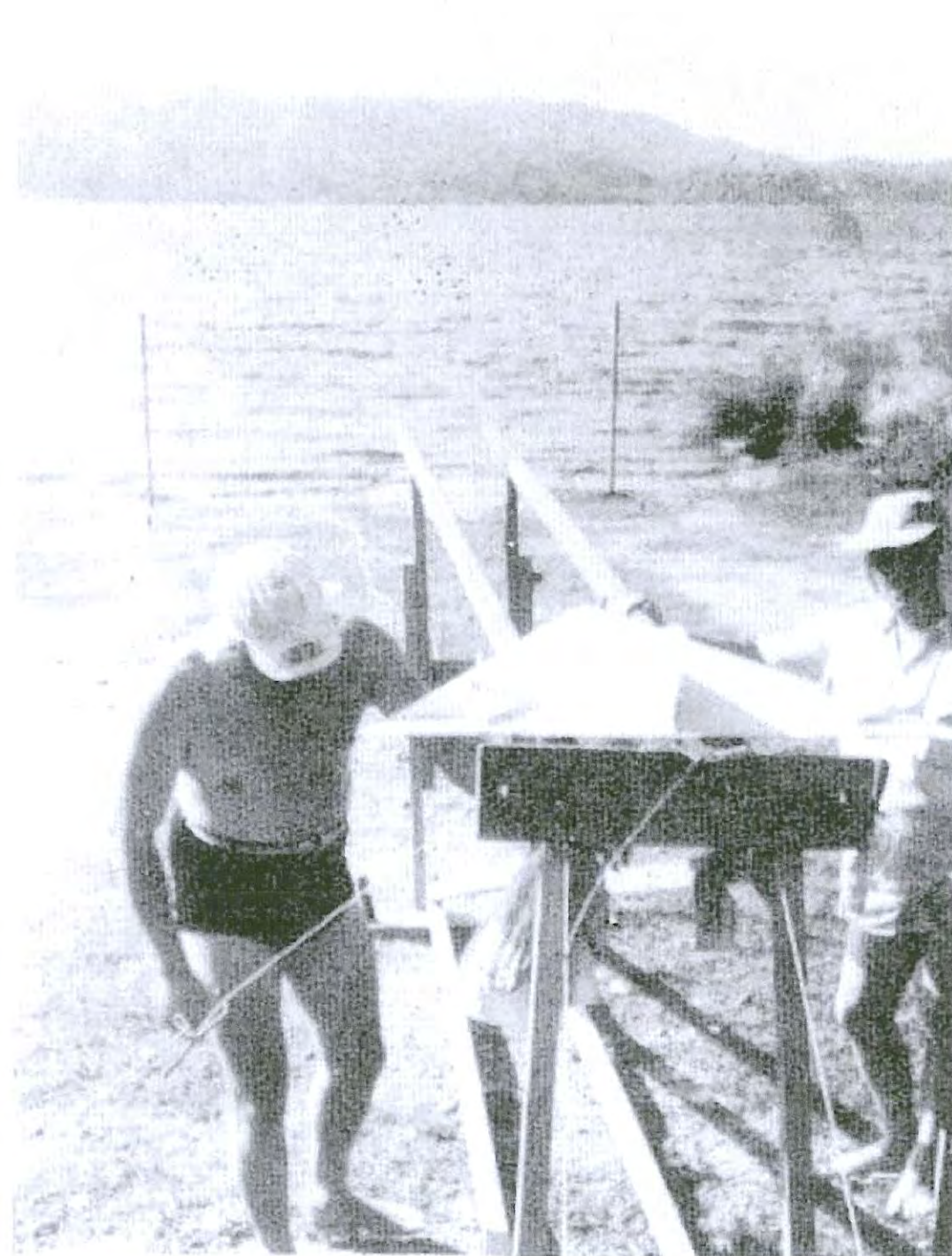


z
y

App 1 - 9/16



All 1 - 10/16



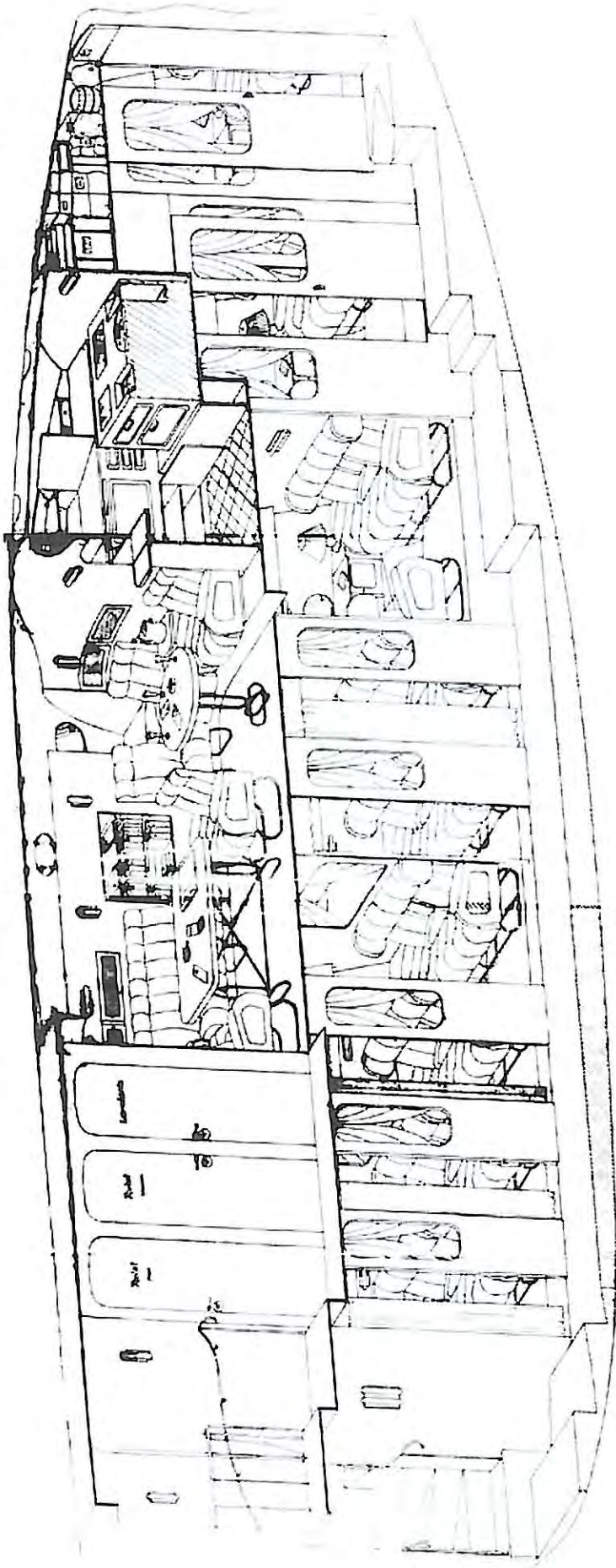
All 1 - 11/10



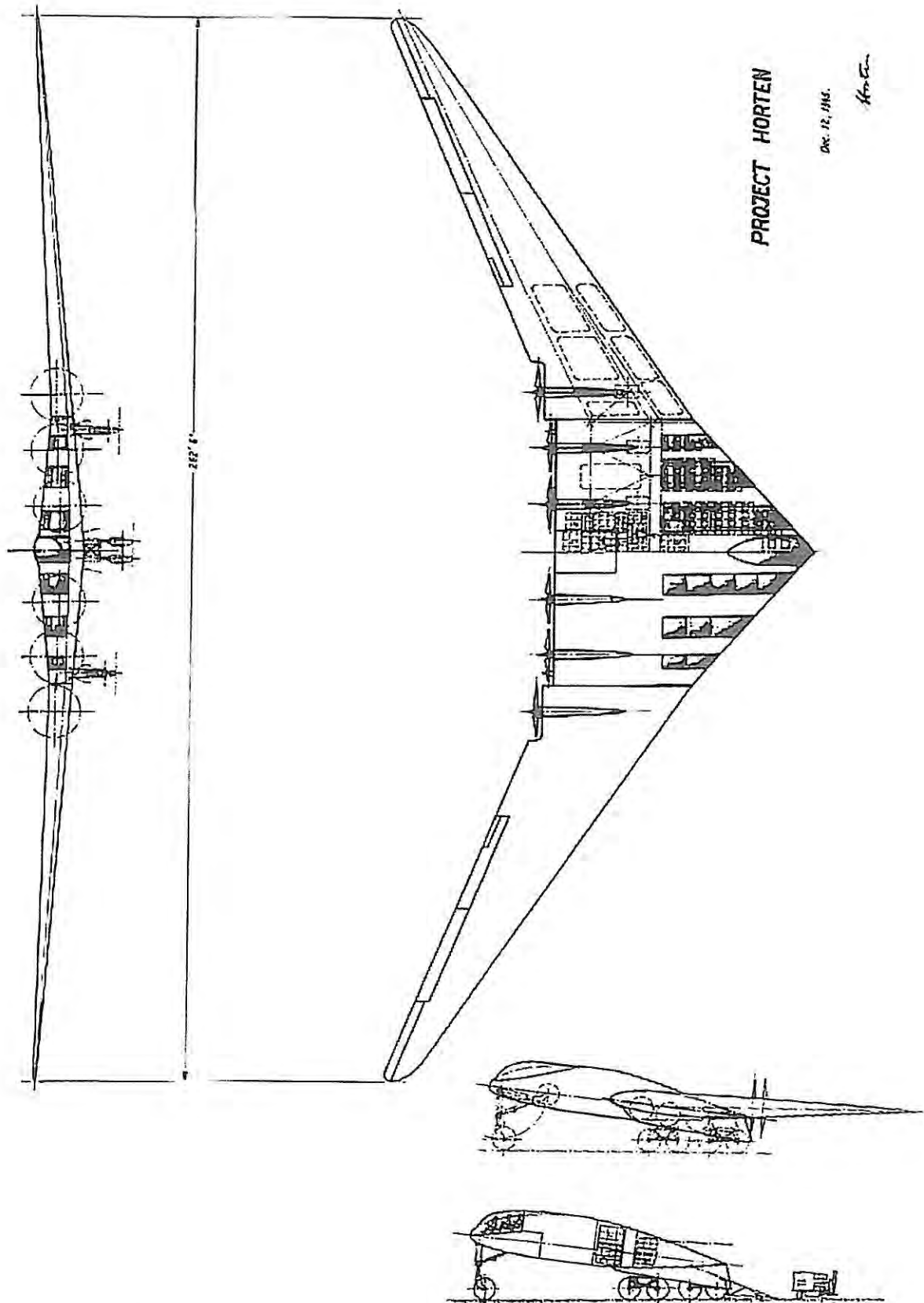
All 1 - 12/16

HORTEN

zu Projekt Horten
191. Spinnweb, 1. Etage, 1. Stockwerk
zu Planung der Bauteile
Passagerräume



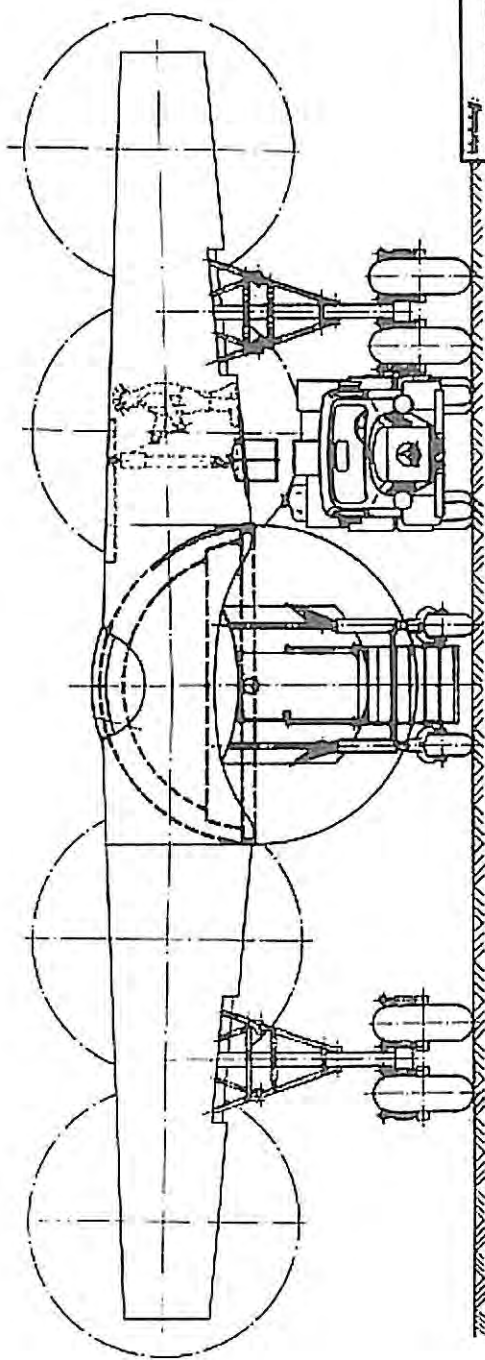
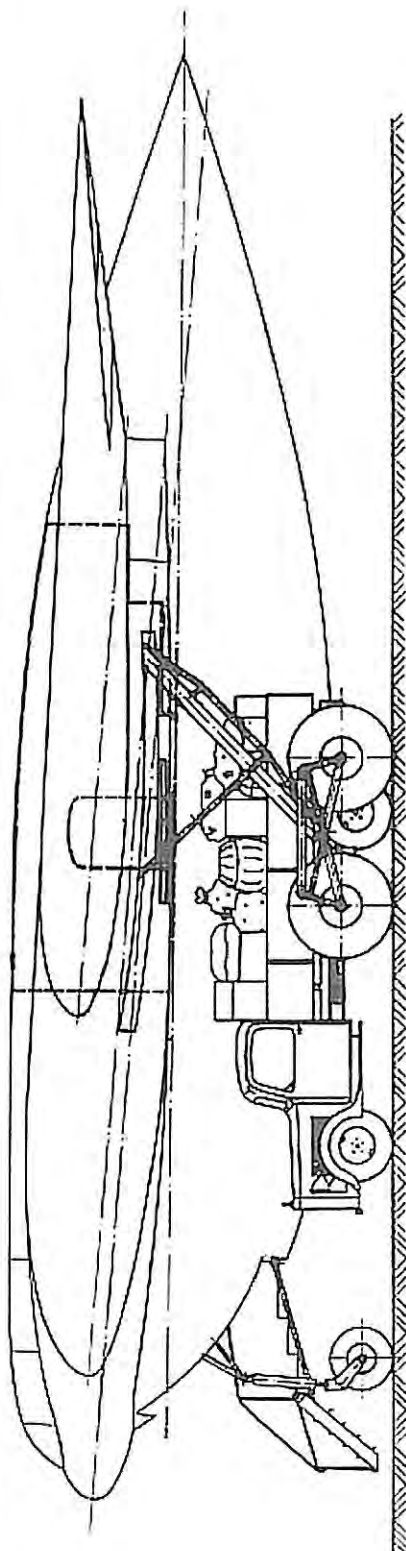
All 1 - 13/16

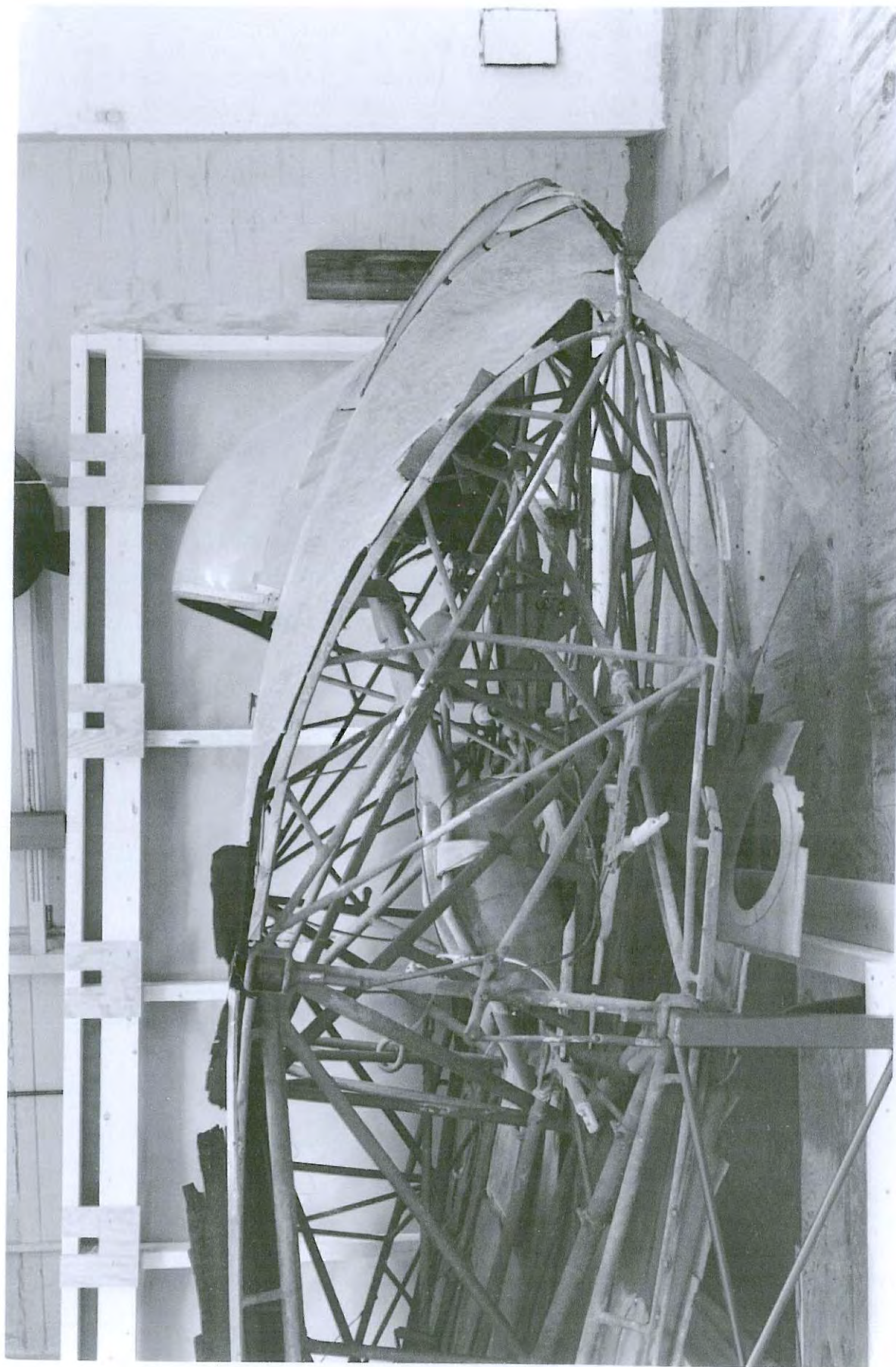


Tra i tanti progetti Horten, rimasti sul tavolo da disegno, c'era anche questo esamatore da 70 tonnellate, previsto (nel 1945) per trasporto passeggeri e merci..

[84/ter]

Att 1 - 14/16

[illegible]



HORTEN H-III f MUSEO DI MONACO

45

04/94/25

All 1 - 15/15