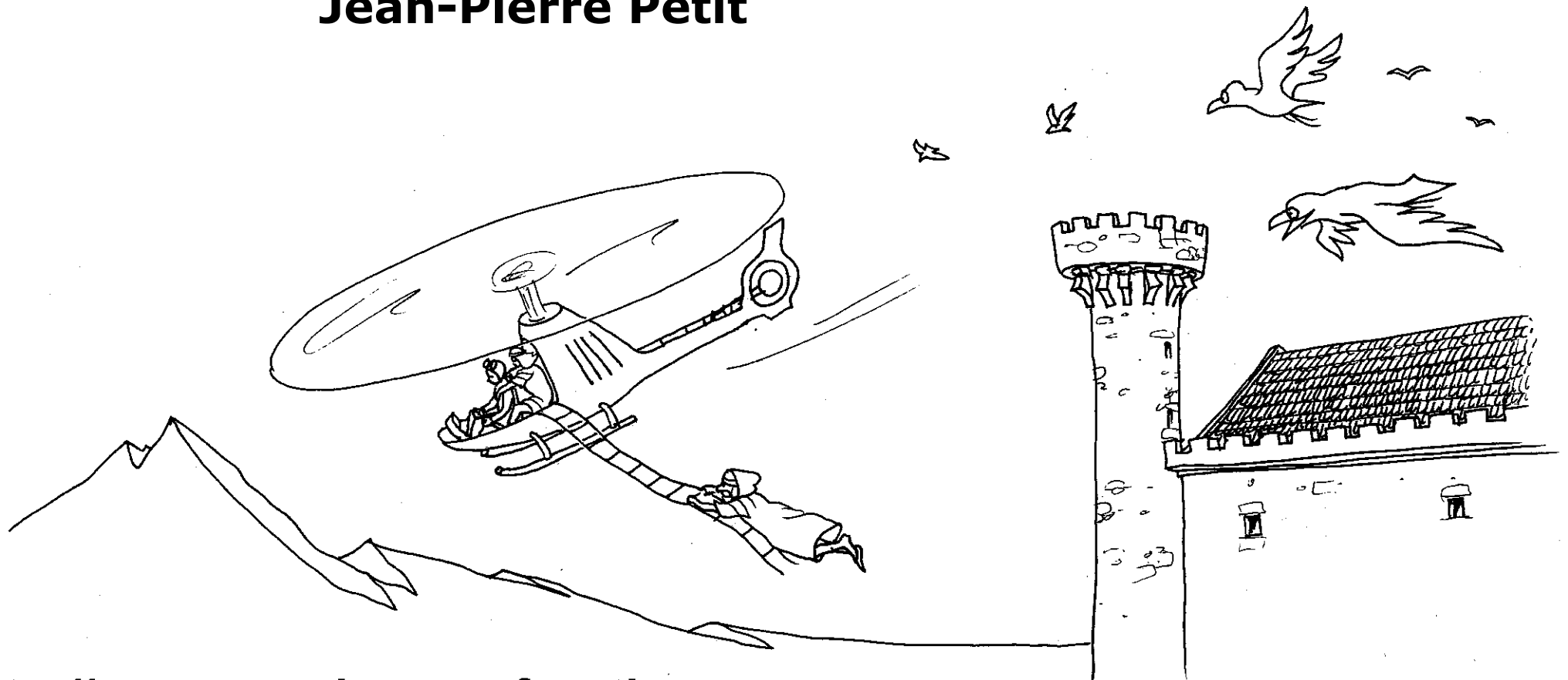


PASSIONE VERTICALE

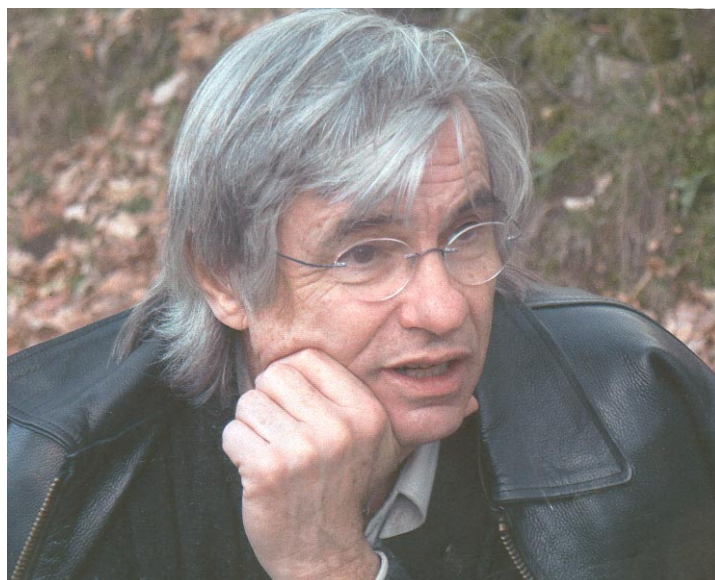
Jean-Pierre Petit



Savoir sans Frontières

(Sapere senza Frontiere)
Association Loi de 1901 (ONLUS)

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Jean-Pierre Petit, Presidente dell'Associazione

Ex Direttore di Ricerca presso il CNRS, astrofisico e ideatore di un nuovo genere di pubblicazione: il fumetto scientifico. Nel 2005, crea con il suo amico Gilles d'Agostini l'associazione Savoir sans Frontières che si prefigge lo scopo di divulgare gratuitamente il sapere, anche scientifico e tecnico, nel mondo intero. L'associazione, il cui funzionamento è consentito dalle donazioni che riceve, retribuisce traduttori con un compenso di 150 Euro (nel 2007) facendosi carico delle spese bancarie relative all'incasso.

I molti traduttori fanno crescere ogni giorno il numero dei testi tradotti (nel 2007, 200 fumetti scaricabili gratuitamente da internet, in 28 lingue tra cui il Laoziano e lo Ruandese).

Il presente file pdf può essere duplicato e riprodotto liberamente, parzialmente o integralmente, nonché utilizzato da insegnanti nei loro corsi, purché tali operazioni non siano a scopo di lucro. Può essere inserito in biblioteche municipali, scolastiche ed universitarie, sia in forma stampata che in reti digitali di tipo Intranet.

L'autore intende completare questa raccolta di opere con testi maggiormente accessibili ai giovanissimi (ragazzi di 12 anni). Sono inoltre in preparazione dei fumetti "parlanti" per analfabeti, nonché altri "bilingue" destinati all'apprendimento di una lingua straniera partendo dalla propria lingua madre.

L'associazione cerca costantemente nuovi traduttori che traducano nella loro lingua madre e dispongano delle competenze tecniche e linguistiche idonee alla corretta traduzione dei fumetti.

Per contattare l'associazione, vedere la pagina iniziale del sito

Conoscenza senza frontiere

Associazione senza scopo di lucro creata nel 2005 e gestita da due scienziati francesi. Obiettivo: diffondere la conoscenza scientifica utilizzando la banda tracciata attraverso i PDF scaricabili gratuitamente. Nel 2020 sono state così realizzate 565 traduzioni in 40 lingue. Con oltre 500.000 download.



Jean-Pierre Petit

Gilles d'Agostini

L'associazione è totalmente volontaria. Il denaro è stato interamente donato ai traduttori.

Per effettuare una donazione, utilizzare il pulsante PayPal sulla home page:

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



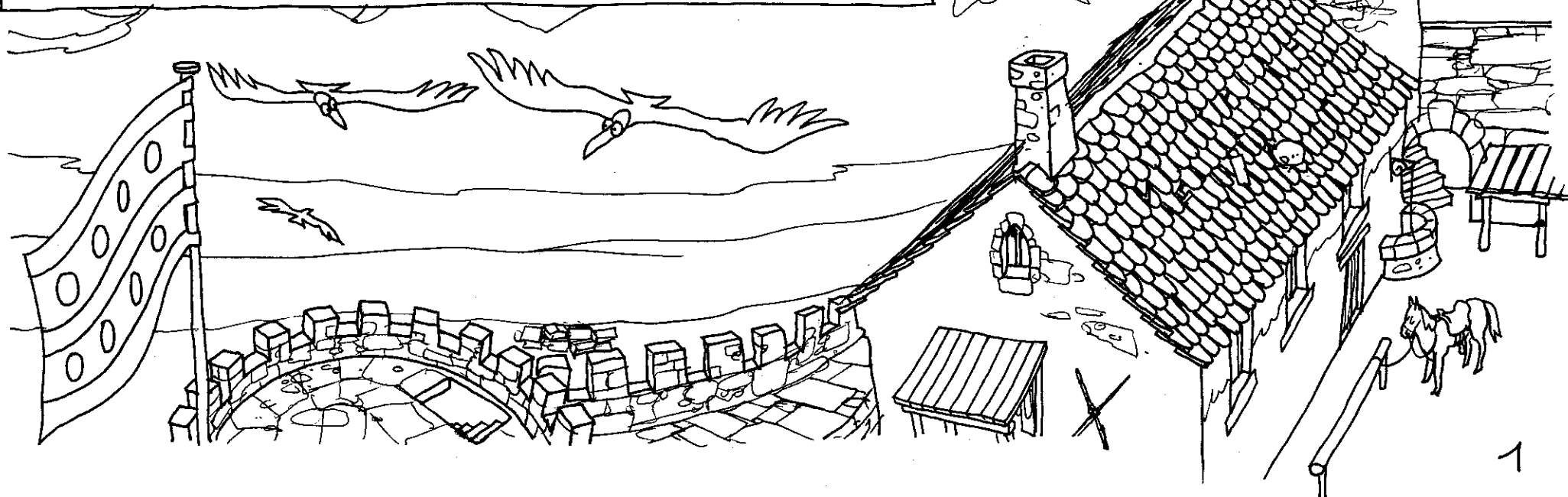
Prefazione

Trovo originale l'idea di prendere spunto da Voltaire per teorizzare sul volo dell'elicottero. Ne risulta un'opera piacevole resa particolarmente attraente dal suo taglio umoristico. Nel contempo, la serietà con la quale vengono trattati gli aspetti tecnici e teorici ne fa un libro di base per futuri piloti.

L'elicottero, macchina meravigliosa, ha ancora dinanzi a sé un prospero avvenire!

Jean Boulet

C'era una volta, in Westfalia, un castello appartenente al barone Thunder-ten-Tronckh. Costui vi abitava con la moglie e la figlia Cunegonda. Al castello viveva anche un giovanotto di nome Candido. Era il figlio della sorella del Signor Barone e di un rispettabile gentiluomo del vicinato che non potè tuttavia contrarre matrimonio in quanto nell'impossibilità di dimostrare il suo rango nobile. Tra gli ospiti del luogo vi era un filosofo, maestro Pangloss, grande amante degli scritti di Leibniz, abile nel dimostrare il fatto che non vi fossero effetti senza cause e che, nel miglior dei mondi possibili, il castello del signor barone era il più bello dei castelli e la baronessa la migliore delle baronesse possibili.



Un giorno la giovane Cunegonda, di anni diciassette, vide in un bosco nelle vicinanze del castello il Professor Pangloss mentre dava una lezione di fisica sperimentale alla cameriera della baronessa. Essendo molto portata per le scienze, considerò con attenzione gli esperimenti reiterati di cui fu testimone (*).

Vide chiaramente la ragione sufficiente del professore, gli effetti e la cause, e se ne tornò tutta sconvolta, tutta pensierosa, col grande desiderio di essere istruita (*).



Tornando al castello incontrò Candido e arrossì; gli diede il buongiorno con voce irregolare e Candido le parlò senza sapere cosa dicesse. (*).

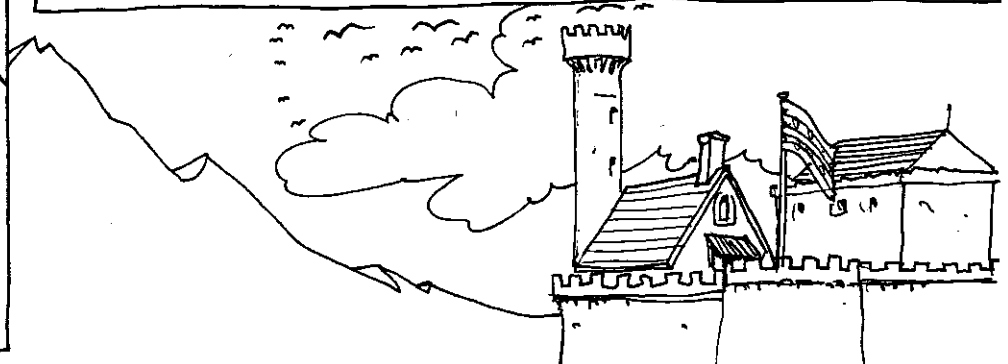
(*). Tratto da "Candido" di Voltaire (1694-1778).



Le loro labbra si toccarono, le loro mani si perdettero. Il signor barone, che di lì passava, vide la scena, i suoi effetti e le sue cause. (*)



La signora baronessa schiaffeggiò Cunegonda e la rinchiuse in una stanza sita in cima alla torre di guardia del castello...



...e fu costernazione nel più bello dei castelli possibili... (*)

(*) Tratto da "Candido" di Voltaire (1694-1778).



Ah, maestro Pangloss, sono ora il più infelice degli uomini. Il barone tiene sua figlia rinchiusa nel mastio. Per evitare che possa evadere annodando le lenzuola, sua madre le ha lasciato solo un sacco a pelo.

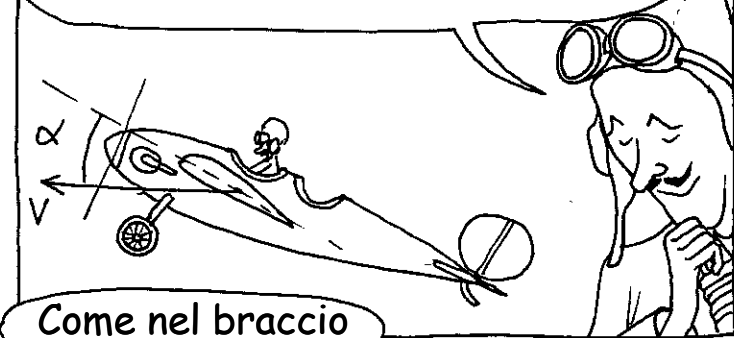


Forse posso fare qualcosa per voi.

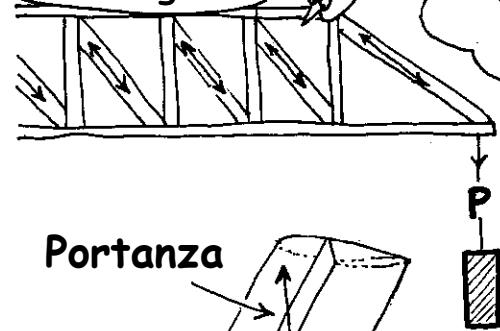


(*) Per sapere come vola un aeroplano, leggere *Il volo* su www.savoir-sans-frontieres.com

Dovrei poter ridurre la distanza di atterraggio eseguendo un approccio ad una minor velocità. La **PORTANZA** dell'ala è proporzionale alla sua **INCIDENZA** α . Cabrando l'aereo potrò forse volare più lentamente.



Come nel braccio di una gru.



Portanza

Queste sbarre lavorano a **TRAZIONE**.



Il **LONGHERONE** sopporta le forze di flessione legate alla **PORTANZA**.

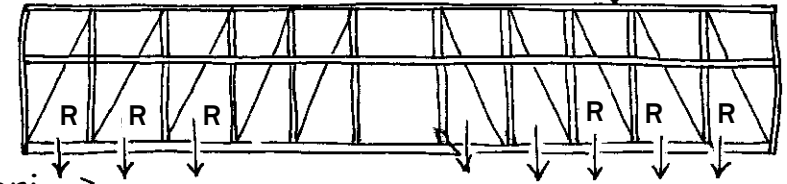
È quindi quest'ala che vi consente di stare in aria.



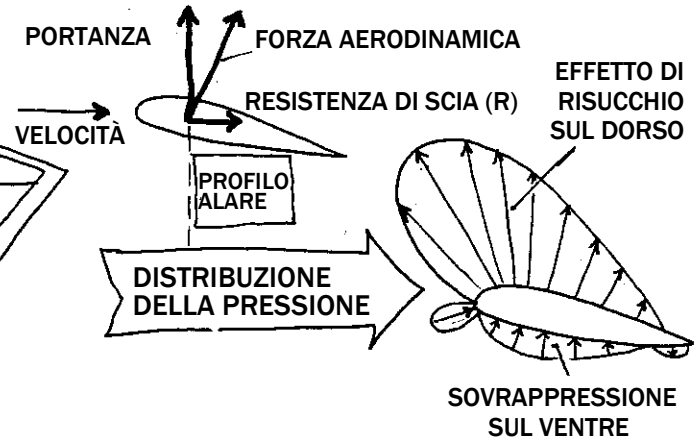
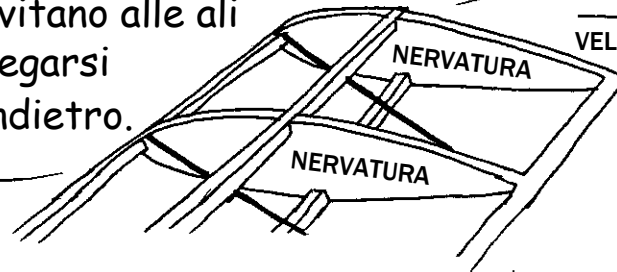
Sì.

VENTO RELATIVO

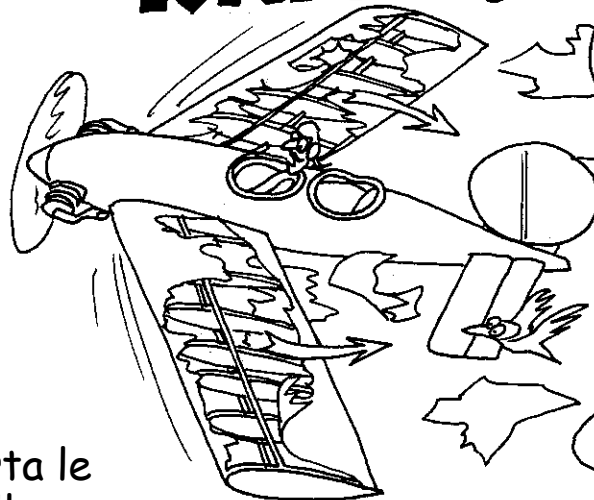
BORDO D'ATTACCO



Ho messo dei cavi irrigiditori che sopportano le forze di scia ed evitano alle ali di piegarsi all'indietro.



KRAK!

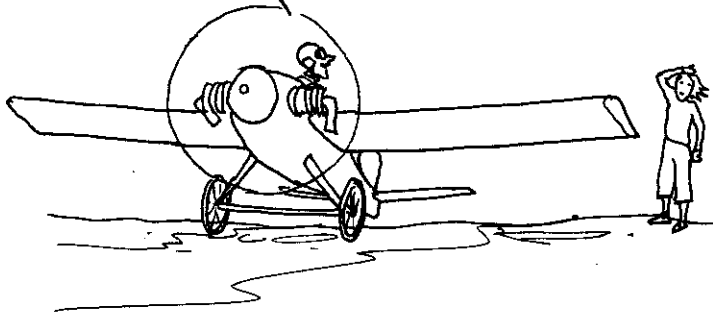


Signori, senza questi preziosi irrigiditori le ali si spezzerebbero.

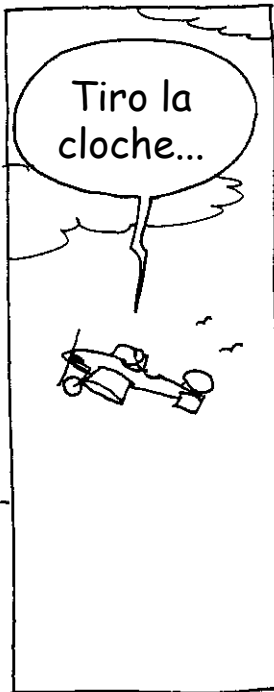
Saggia precauzione...



Bene, vediamo come possiamo ridurre la velocità facendo cabrare l'apparecchio.



Tiro la cloche...



KRAAAK!

Improvvisamente le ali si spezzano, piegandosi in avanti!



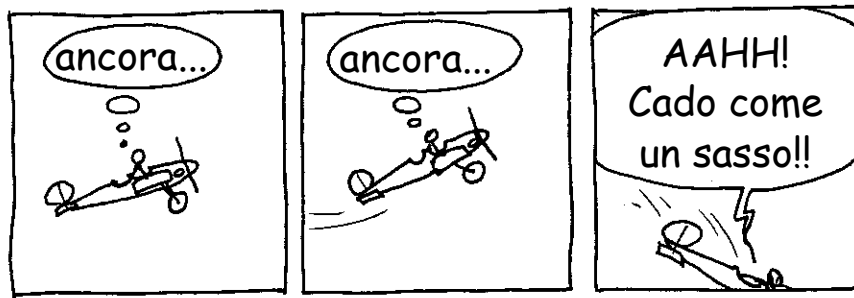
Tutto sistemato! Basta mettere una seconda serie di irrigiditori che impediscano alle ali di piegarsi in avanti.



L'apparecchio è ora correttamente rinforzato. Inizio a cabrare gradualmente.



Se questa volta non cabra sento che potrei alterarmi...



LO STALLO

Non è certo con questa macchina che potrò liberare Cunegonda. Mi chiedo come un simile apparecchio possa avere qualche avvenire.



Poiché non vi è effetto senza causa, dobbiamo scoprire la ragione sufficiente di questa improvvisa scomparsa della portanza.



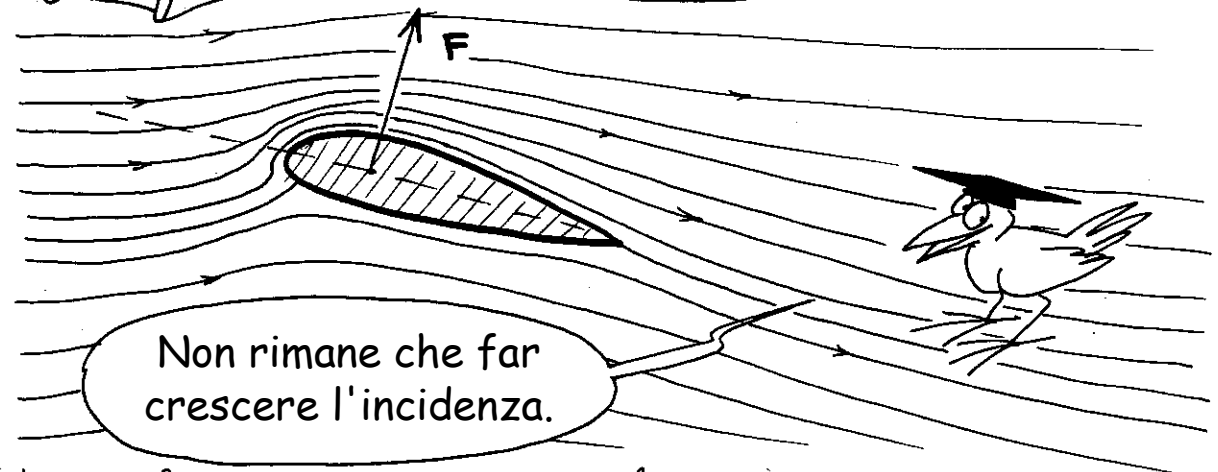
Questa volta siete stato veramente fortunato a finire su un covone di fieno!

Cos'è successo?

Non saprei, ad una certa incidenza è scomparsa la portanza!?!

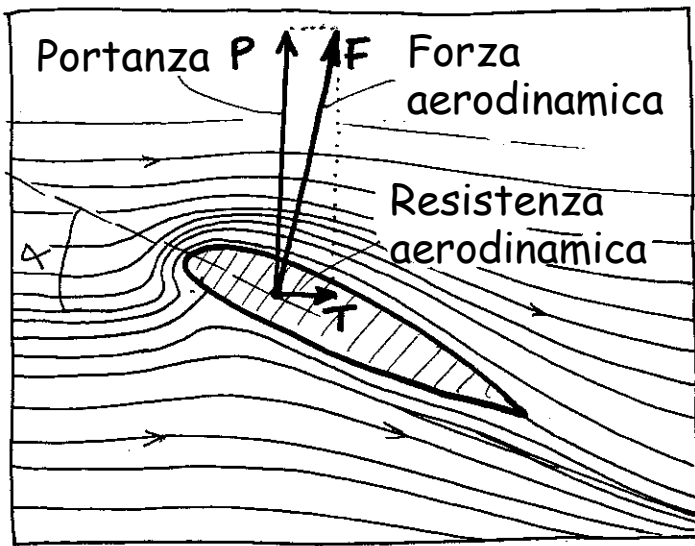


Non vi è menzione di questo fenomeno nel fumetto *Il volo* (*). Si vede solo che la portanza appare quando uno scorrimento regolare manda il fluido verso il basso.

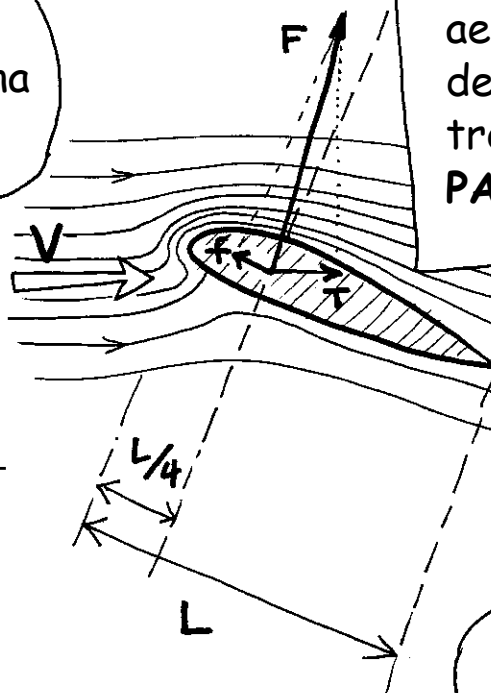


Non rimane che far crescere l'incidenza.

(*) Su <http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Guardando lo schema di scorrimento corrispondente ad una forte incidenza, noto qualcosa.

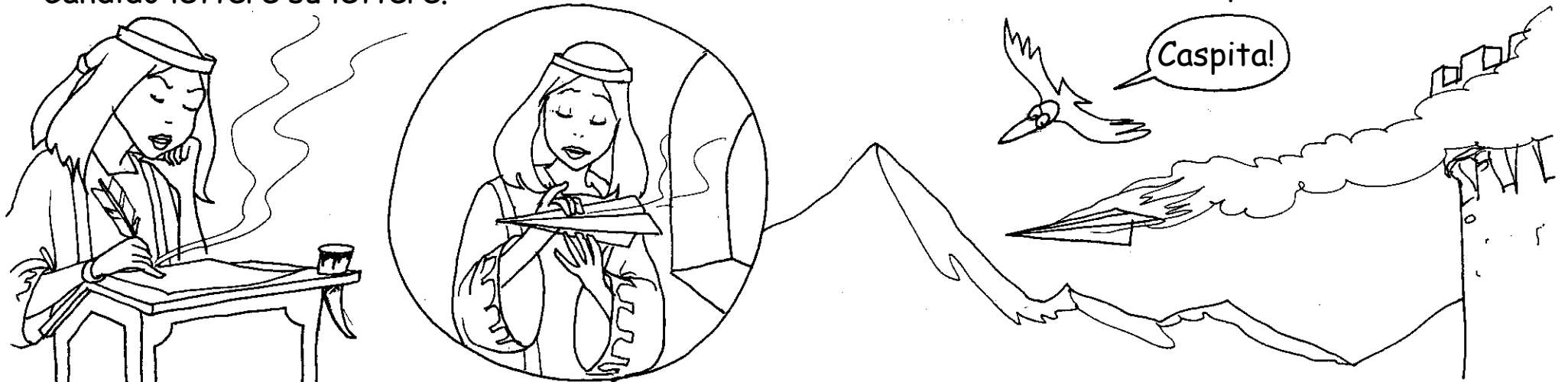


Quando si proietta la risultante della forza aerodinamica F (che si esercita ad un quarto della lunghezza del profilo della "corda") troviamo una componente diretta verso la **PARTE ANTERIORE** del profilo alare.

Ed è per questo che le ali dell'aeroplano si sono ripiegate in avanti.

Nel contempo, Cunegonda scriveva a Candido lettere su lettere.

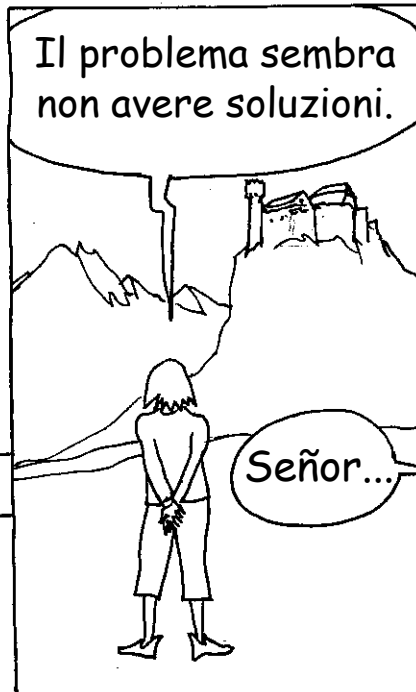
Ma le sue parole erano così infuocate che le missive si consumavano prima di toccare terra.



Una mongolfiera? Non può funzionare. Con ogni probabilità mancherei la torre.



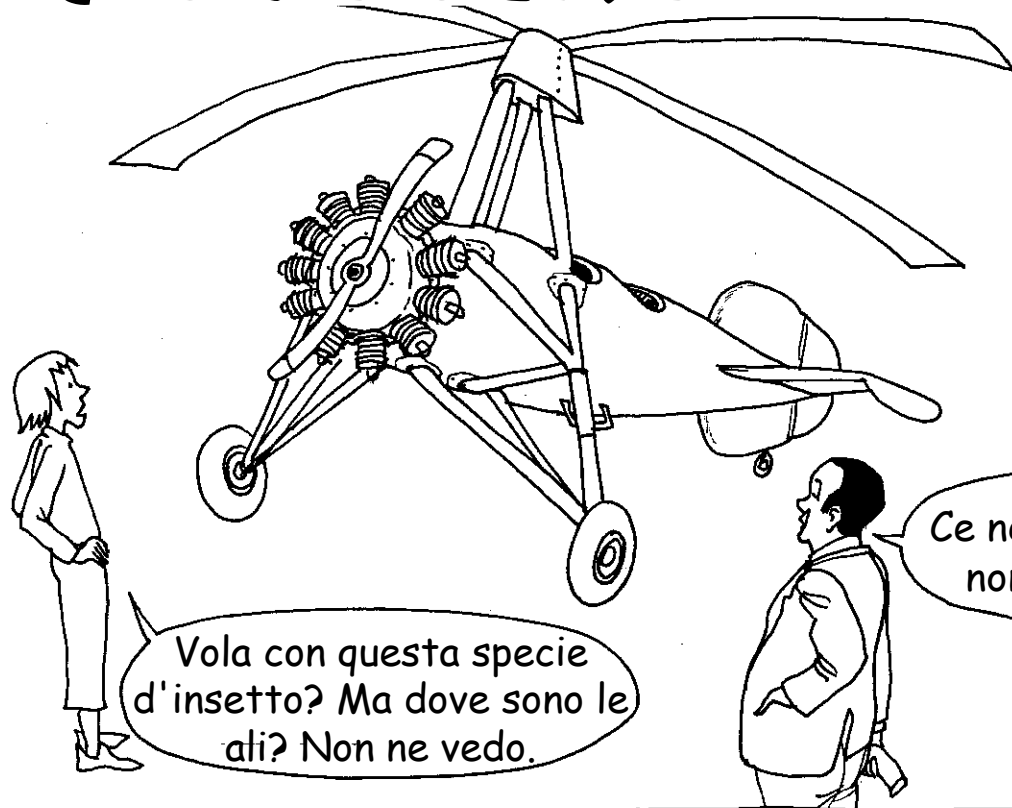
Il problema sembra non avere soluzioni.



Il mio nome è Juan de la Cierva, potreste indicarmi dove si trova la toilette?



L'AUTOGIRO



Vola con questa specie d'insetto? Ma dove sono le ali? Non ne vedo.

Ce ne sono quattro, non le bastano?



Come chiamate quest'apparecchio?

L'autogiro. Volete provarlo?



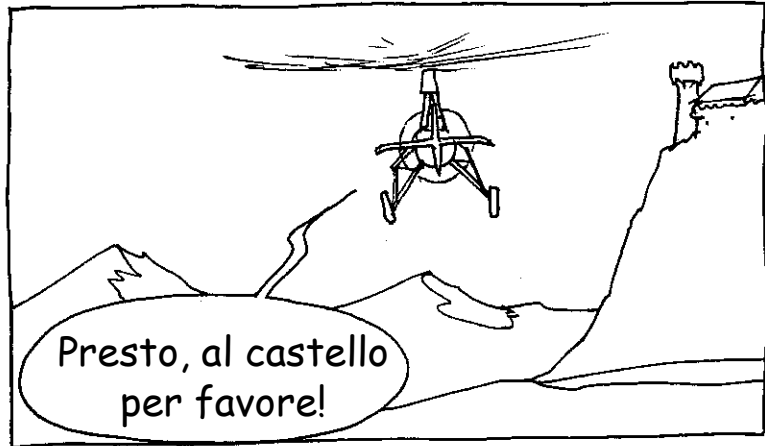
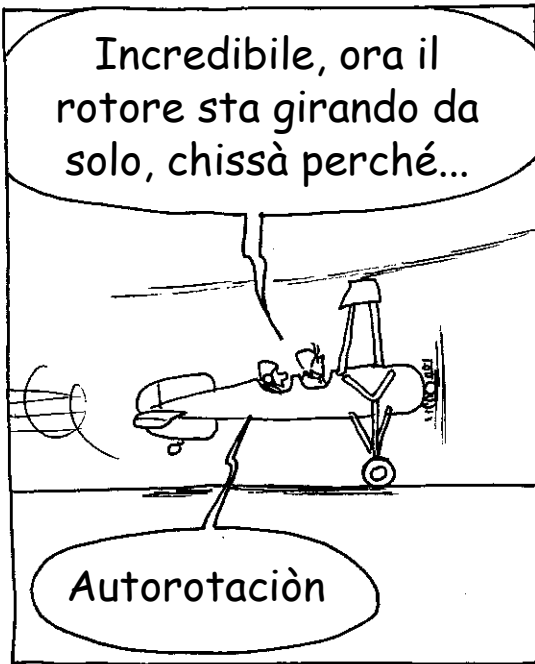
Mi mettete il rotore in movimento? Grazie.

Il... ah, ma come?

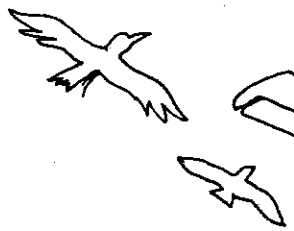
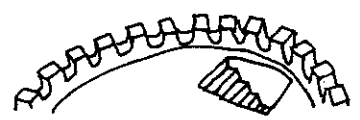
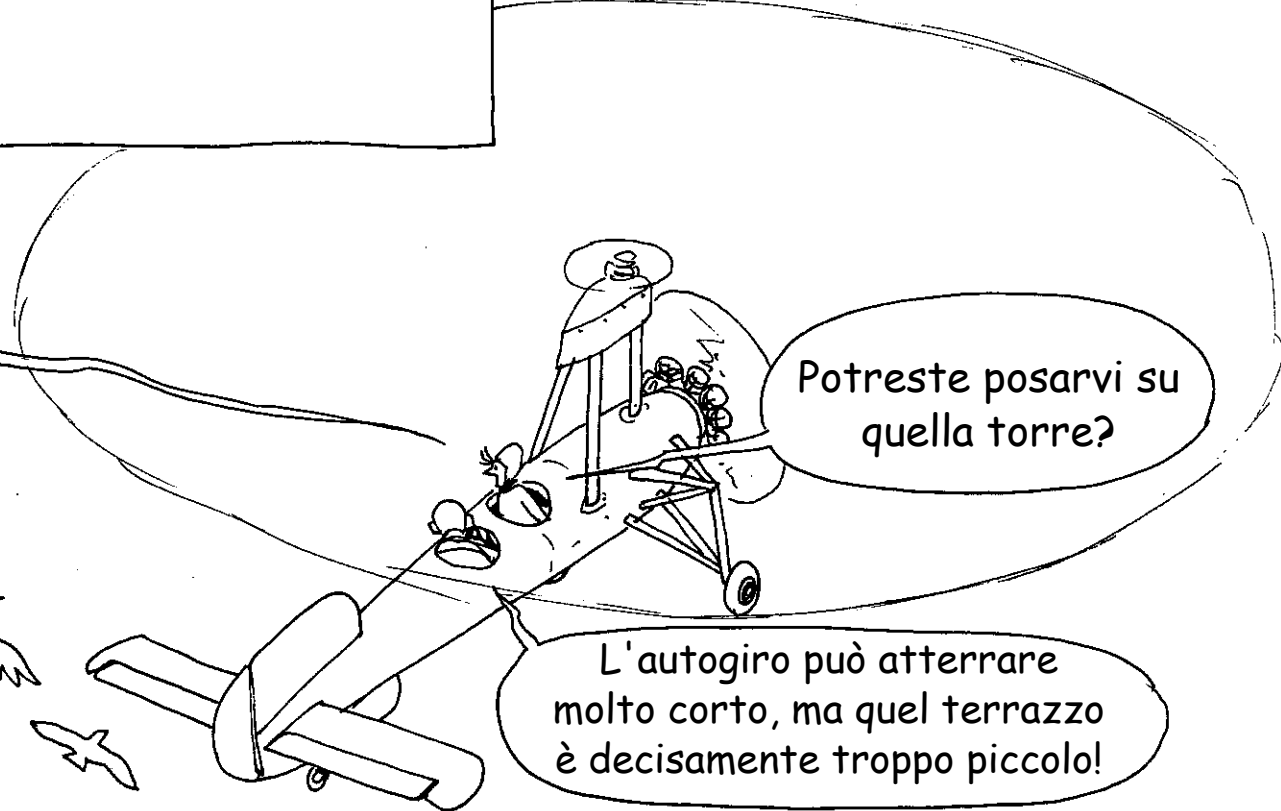


Vuol dire che sarò io a garantire il sostentamento a mano?

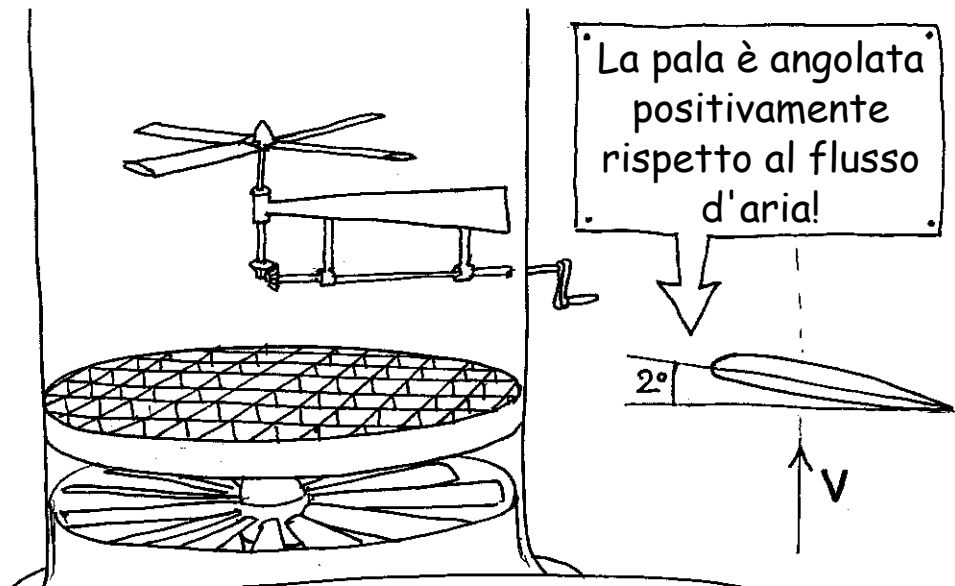
No...



La mia cara Cunegonda deve essere laggiù!







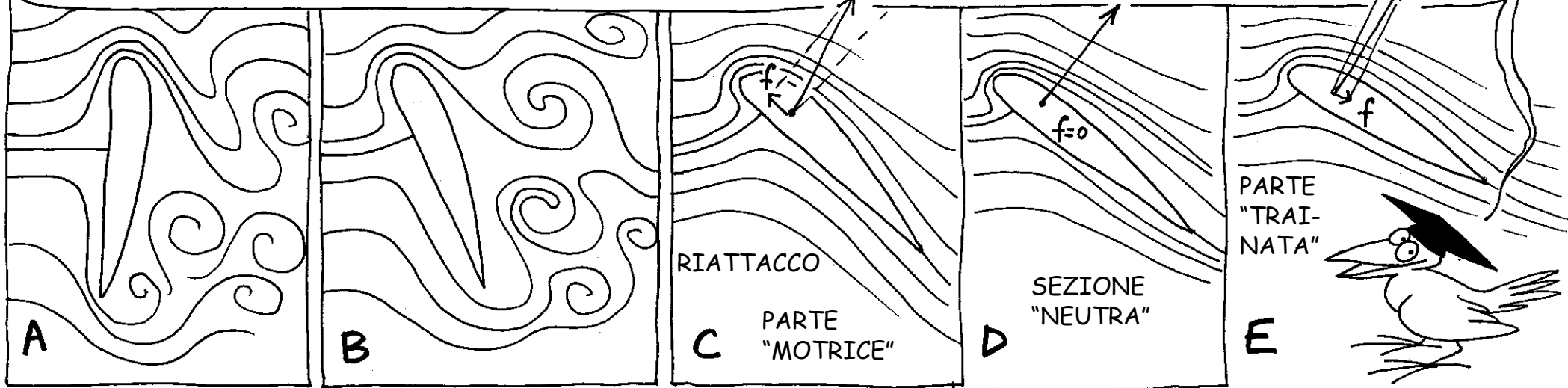
Nonché una galleria del vento verticale, la cui griglia di raddrizzamento del flusso è anche in grado di liberare fumo.



AUTOROTAZIONE



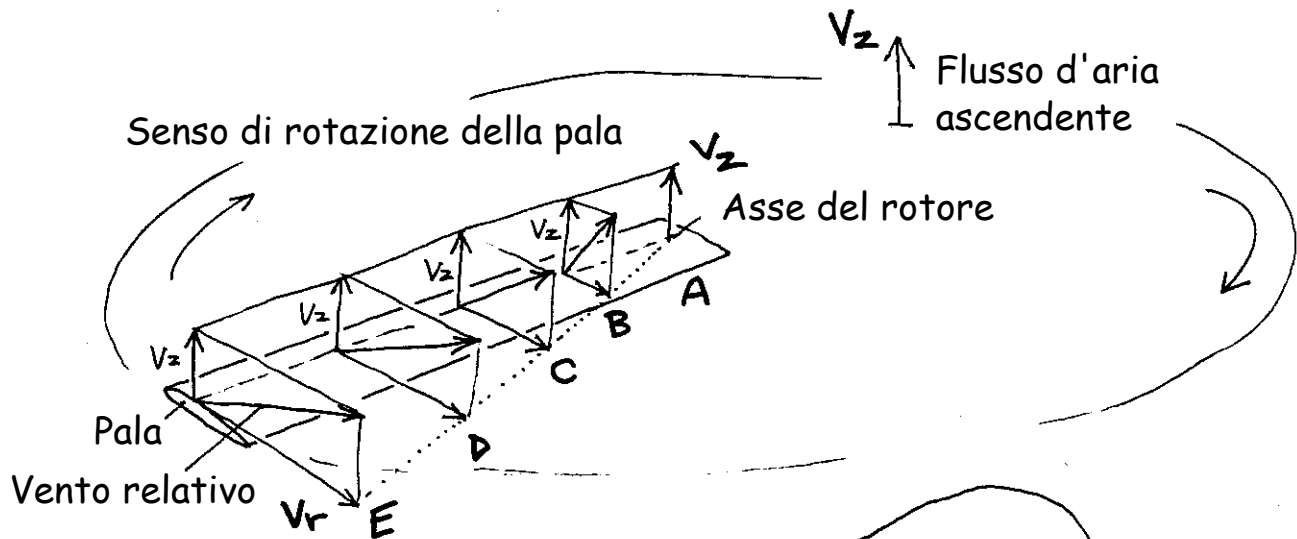
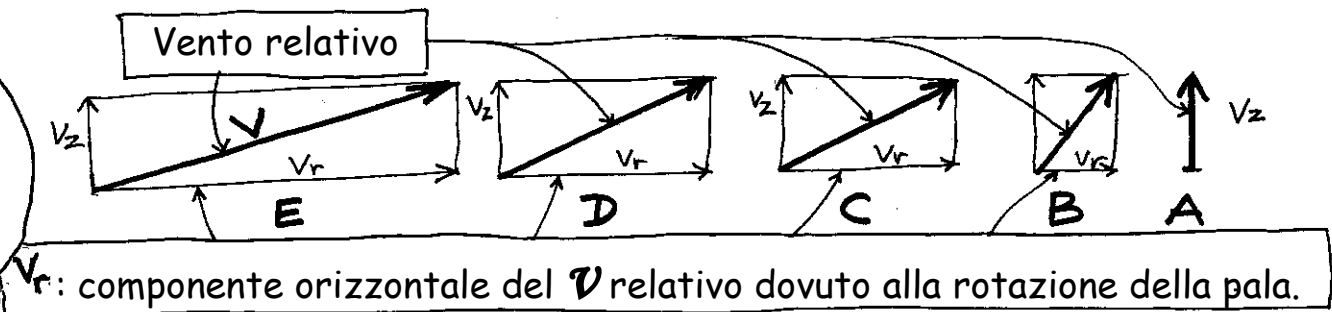
Quando diminuisce l'incidenza della pala, rispetto alla direzione del **VENTO RELATIVO**, si ha un riattacco dei filetti d'aria (figura **C**). La forza aerodinamica (componente f) tende a trainare la pala. In **D** tale forza si annulla, per poi invertirsi in **E**. Ora la componente f frena il moto della pala.



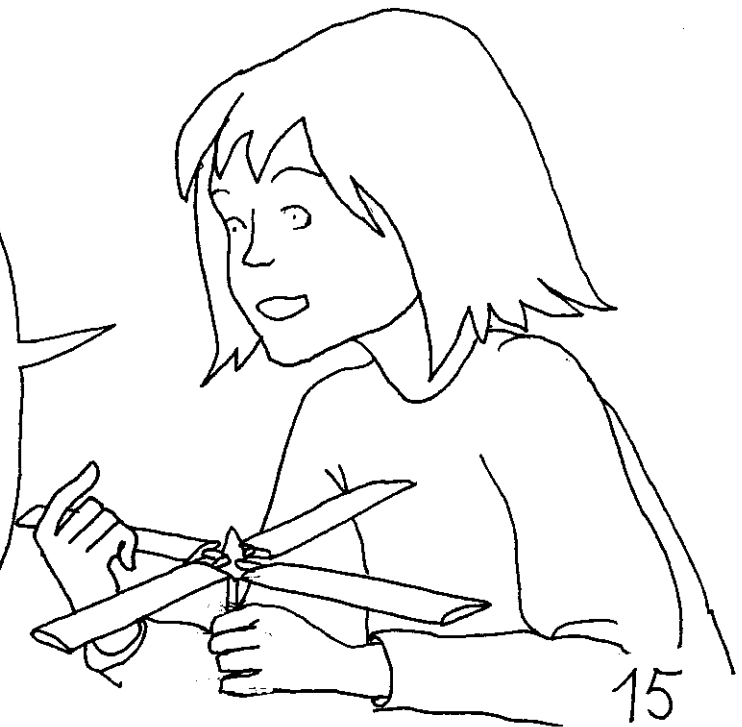
Certamente mio caro Candido.
Ma da dove viene il cambio di
direzione di ciò che chiamate il
VENTO RELATIVO?



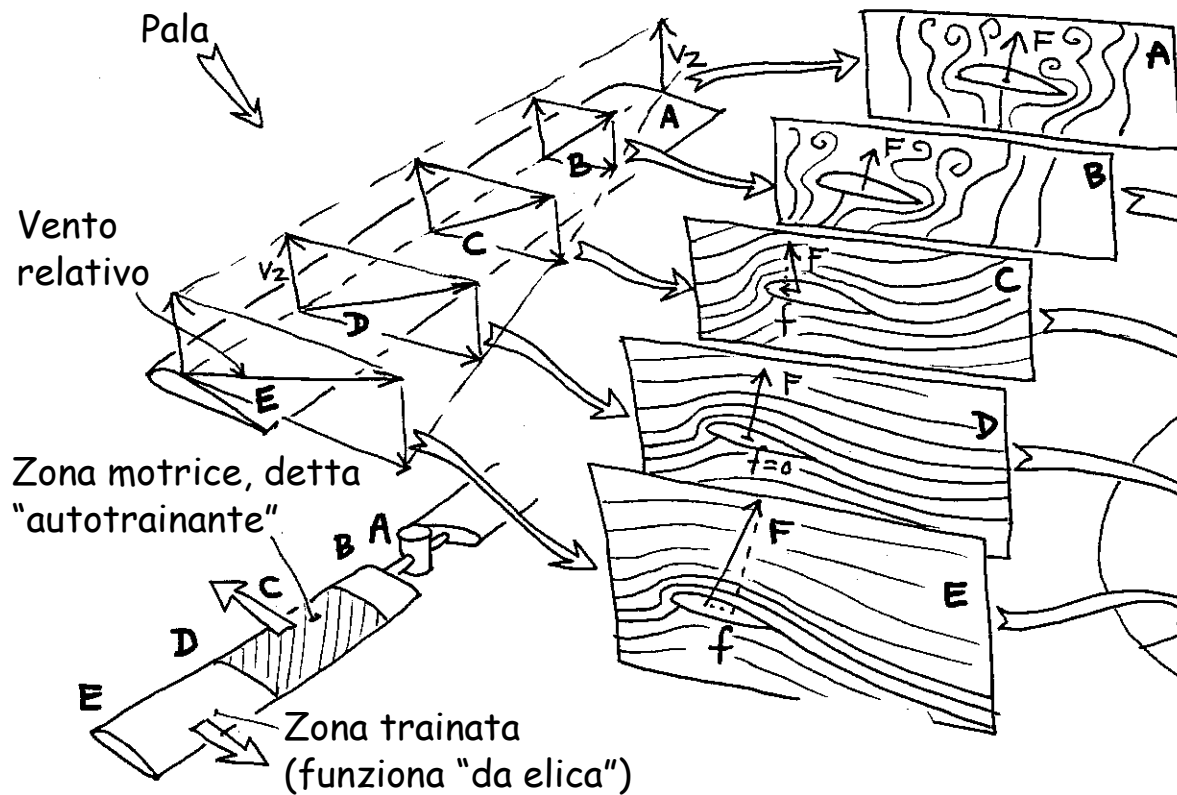
La velocità del
rotore si combina con
la velocità dovuta alla
rotazione della pala.



Il rotore è immerso in un flusso d'aria ascendente con
velocità V_z . Questa si combina con la velocità V_r indotta dal
moto rotatorio della pala, velocità che risulta proporzionale alla
distanza dall'asse. La risultante costituisce il **VENTO
RELATIVO**, che si inclina sempre di più sulla pala man mano che
ci si allontana dall'asse. Nel contempo il modulo di tale velocità
cresce dall'asse alla periferia.



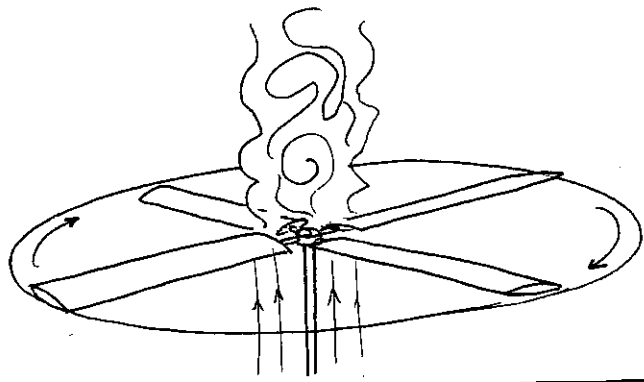
In base al modo con cui tale **VENTO RELATIVO** investe la pala, si ottengono flussi d'aria molto diversi. Per visualizzarli ho adattato un tubicino che libera fumo, solidale della pala in rotazione. Ed ecco i vari risultati che ho potuto ottenere.



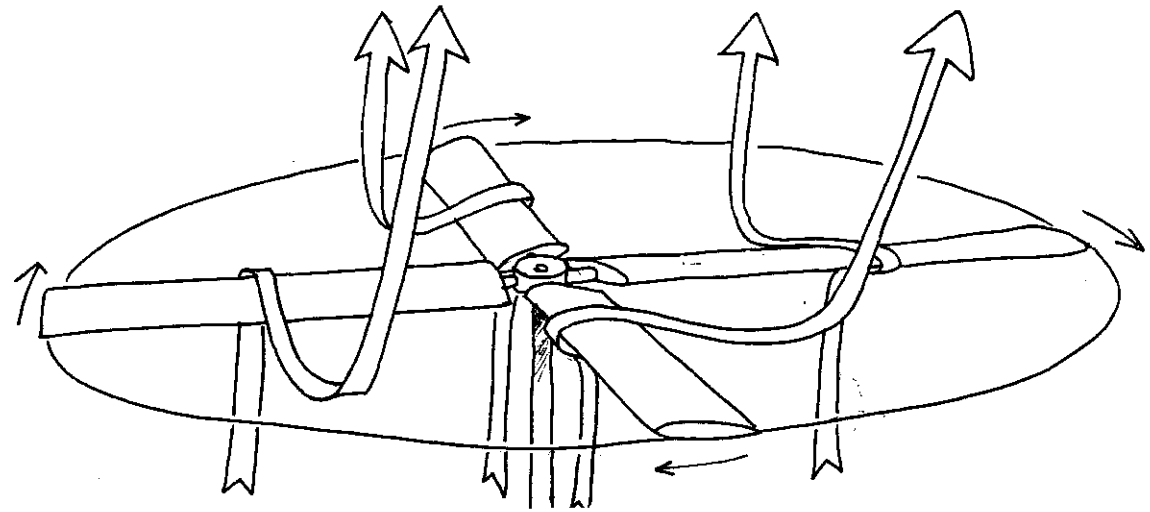
In **A** e **B** il flusso è "distaccato". La pala crea una forte turbolenza. In **C** il flusso si riattacca al profilo. La forza aerodinamica tende a trainare la pala in avanti (zona motrice, "autorotativa", tratteggiata).

In **E** la forza aerodinamica, sempre diretta verso l'alto, tende a frenare il moto della pala. La figura **D** mostra la situazione-limite ($f = 0$). In tale regime di **AUTOROTAZIONE**, la porzione con tratteggio della pala è motrice, mentre l'estremità della pala "si fa trainare". Si instaura un regime **AUTOSTABILE**.

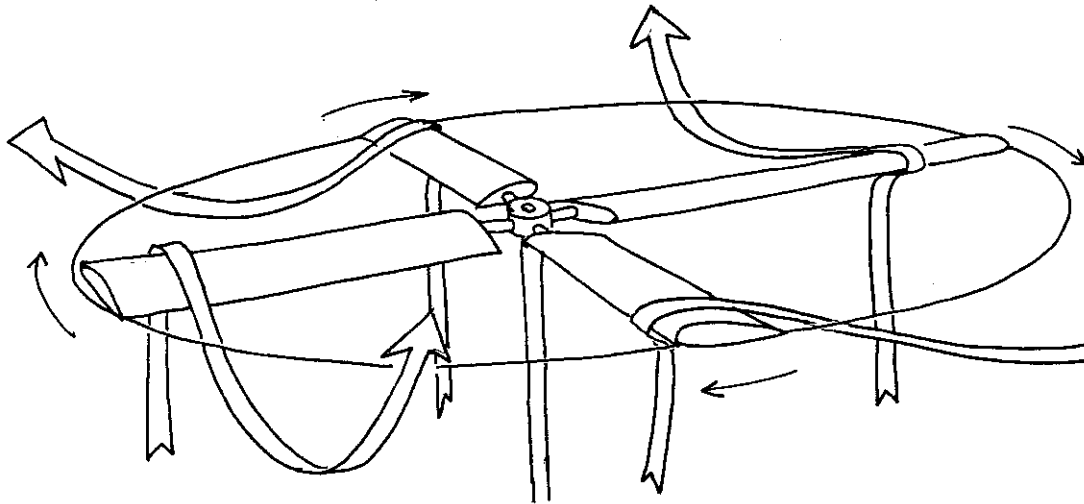
Tutto ciò è stato provato in galleria del vento da Juan de la Cierva.



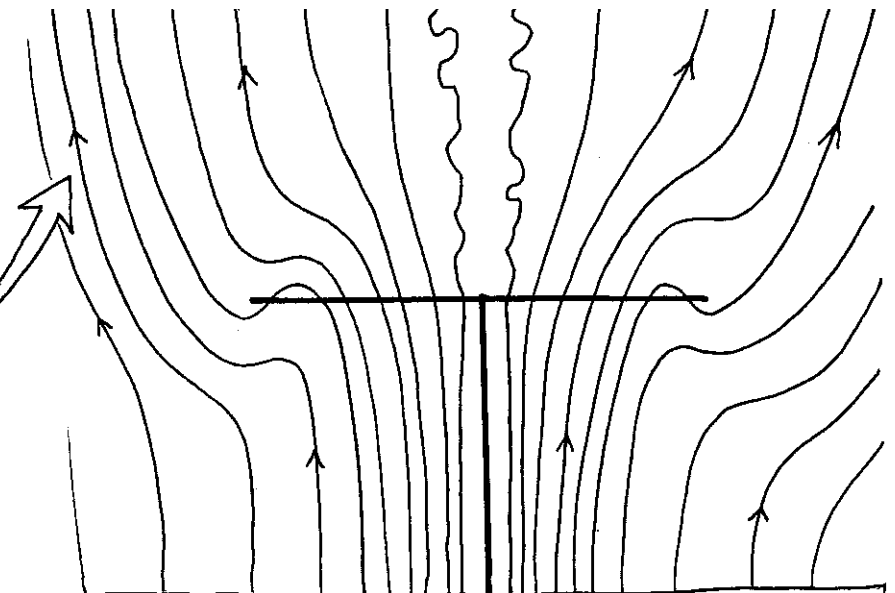
Al disopra della parte centrale (flusso distaccato), si ha una scia fortemente turbolenta.



Qui, il flusso d'aria si riattacca al profilo della pala.

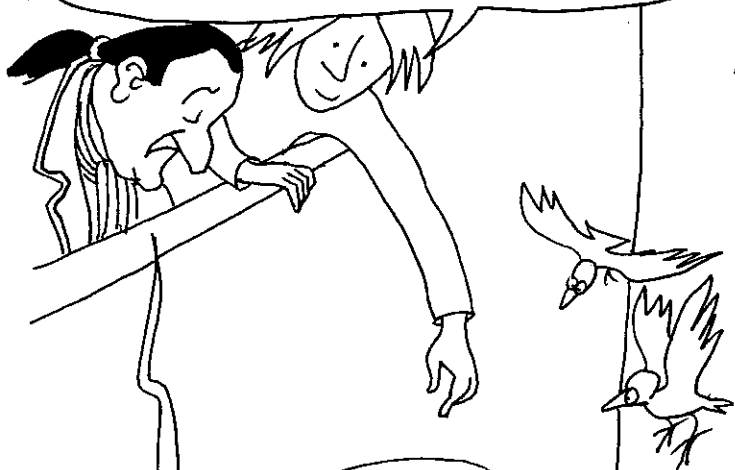


Nella zona periferica, l'impulso trasmesso alla massa d'aria, diretto verso il basso (**VELOCITÀ INDOTTA**) è sufficiente a far sì che l'aria fuoriesca dal disco percorso dalle pale in rotazione.



Il che dà al flusso complessivo l'aspetto curioso evidenziato sopra.

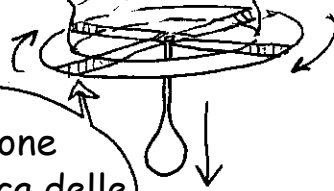
Guardate, maestro Pangloss, lascio cadere dalla finestra questo modellino dopo avergli trasmesso un minimo impulso...



Minimo... rispetto a cosa?

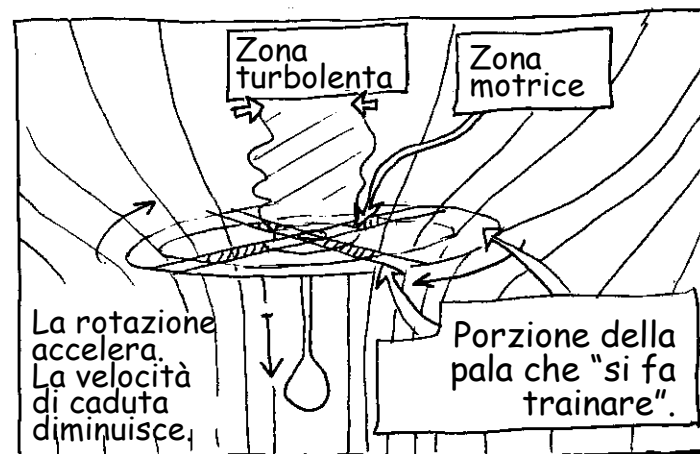
... affinché la parte periferica del rotore ruoti con sufficiente velocità da consentire il riattacco del flusso d'aria. Diventa allora motrice e vi è una accelerazione della rotazione.

Zona turbolenta (flusso "distaccato")



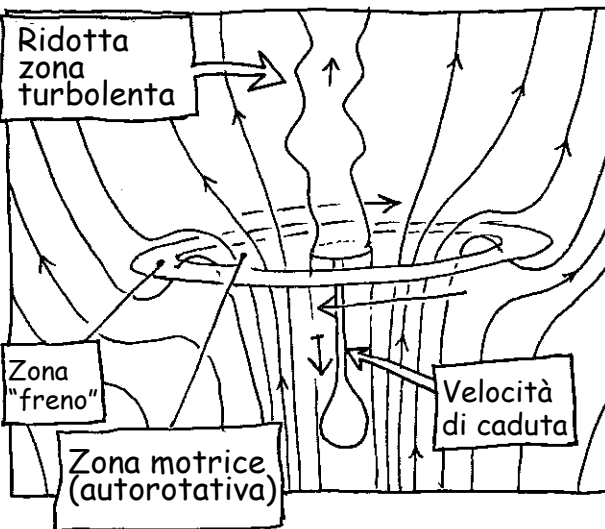
La porzione periferica delle pale è motrice.

La zona di flusso turbolento ("trainata") si riduce con l'aumentare della velocità di rotazione. Compare allora all'estremità delle pale una zona "trainata".



La rotazione accelera. La velocità di caduta diminuisce.

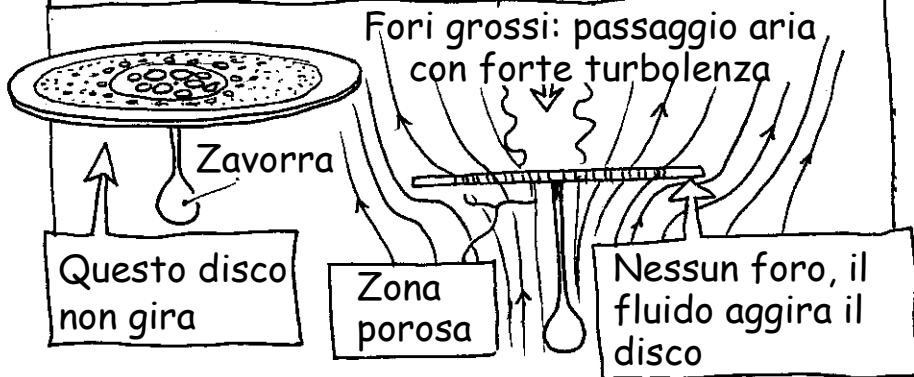
Porzione della pala che "si fa trainare".



La velocità di rotazione si stabilizza quando le due coppie si equilibrano. Il regime di autorotazione risulta quindi assestato e si ha una minima velocità di discesa.

Si otterrebbe un flusso analogo lasciando cadere un disco che non gira, dotato di perforazioni il cui diametro va diminuendo dal centro alla periferia, creando zone dalle diverse porosità.

La Direzione



Cosa sarebbe successo se non avesse dato un sufficiente impulso di rotazione in partenza?

La velocità all'estremità delle pale non sarebbe stata sufficiente a far "riattaccare" il flusso al profilo delle pale. Quindi nessuna forza motrice. Non si instaura il regime di autorotazione: il modellino cade come un sasso!

Ho pensato per un attimo che questo dispositivo potesse consentire a damigella Cunegonda di evadere. Ma in realtà ci sarebbe solo da rompersi le ossa.

E l'autogiro?

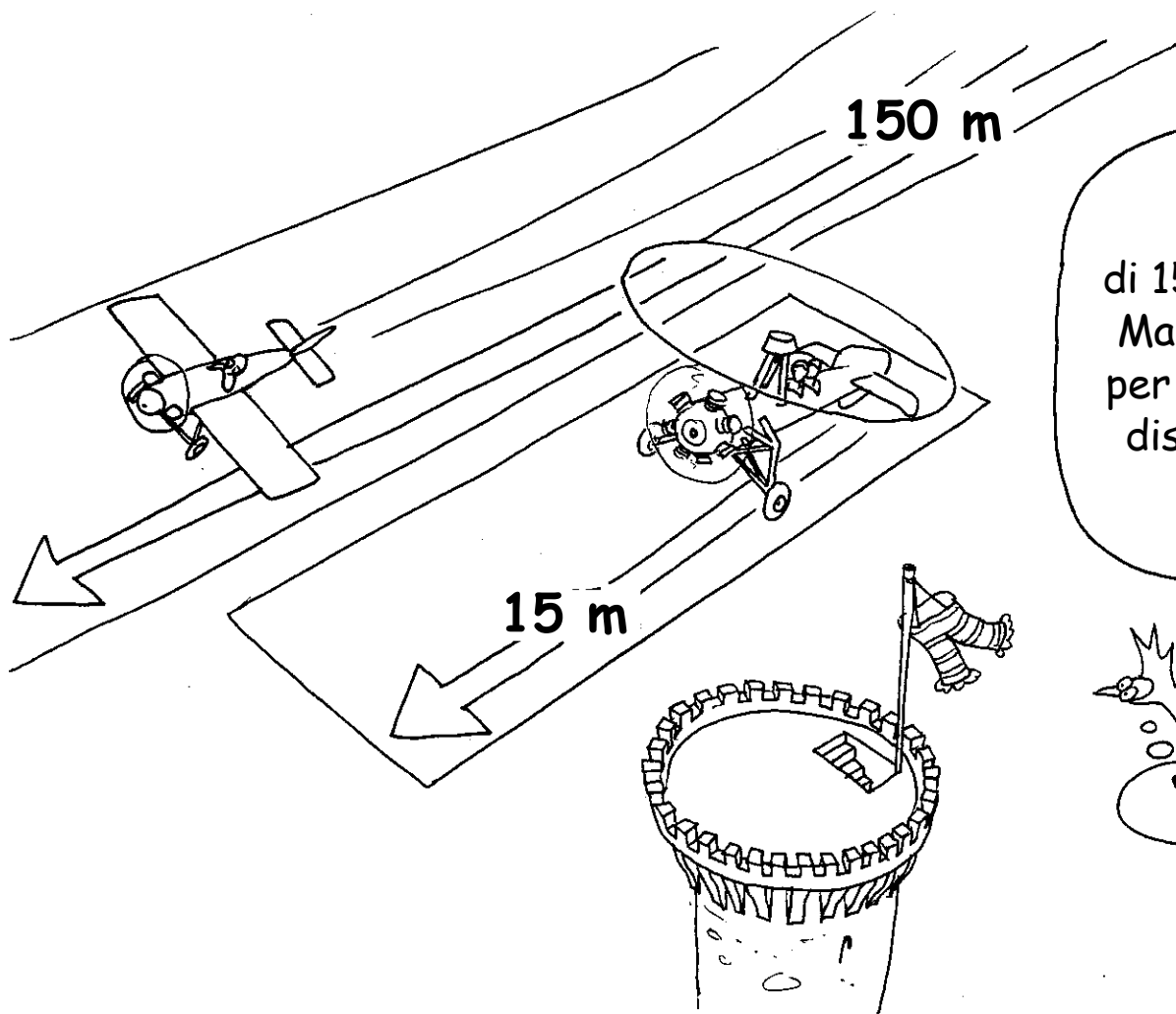
Eppure gira! (*)

Adesso che risulta chiarito il mistero dell'autorotazione del suo rotore, non rimane che aggiungere un pizzico di obliquità. Il rotore viene così a comportarsi come un disco dalla porosità decrescente dal centro verso la periferia.

Potremmo dire che l'autogiro è imparentato con un aquilone la cui tela avrebbe una porosità decrescente dal centro al bordo, con un grosso foro al centro attraverso cui passa l'aria turbolenta.

(*) E pur si muove! (Galileo)

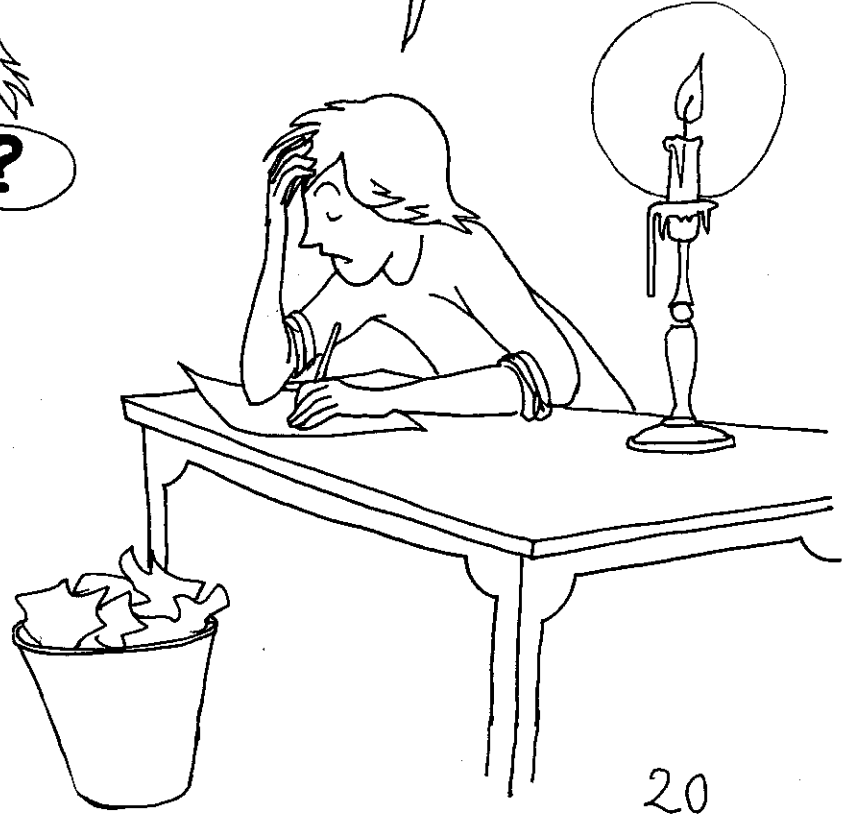
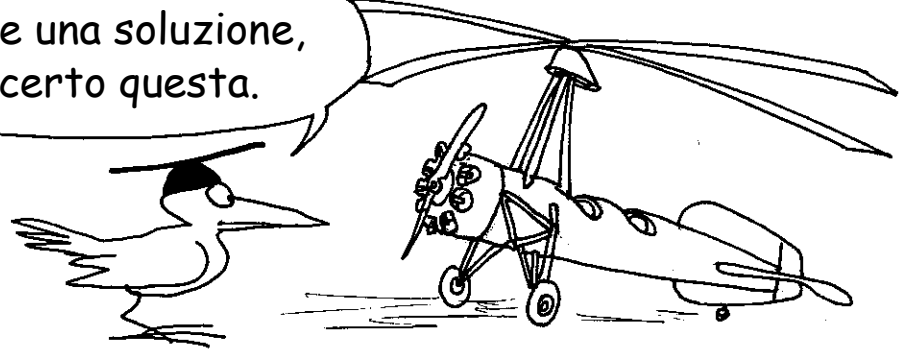




Riassumendo: l'aeroplano ha bisogno di 150 m per posarsi. L'autogyro di 15 metri. Ma il terrazzo della torre è così corto che per atterrarvi occorre davvero operare una discesa verticale. Quale macchina volante potrebbe fare simile cosa?



Se esiste una soluzione, non è certo questa.





Presto venite,
succedono cose nella
torre.

Cosa!? Cosa c'è
ancora!?



Credo che Cunegonda stia
spaccando tutto.



Fate attenzione
state pestando lo
strascico!

Ma perché indossate vesti così lunghe?



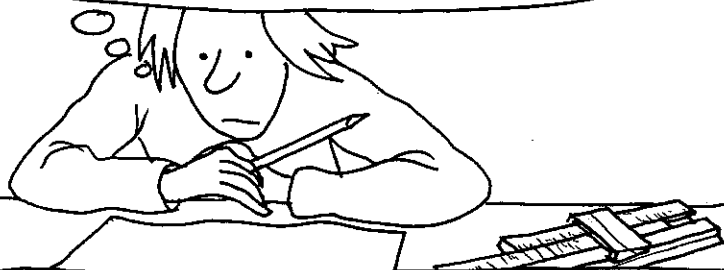
Mio caro, nulla
capite di moda.



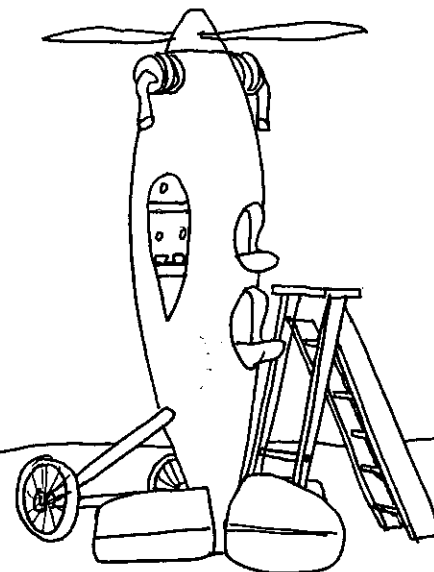
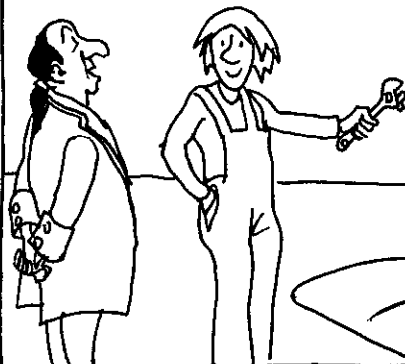
VOGLIO
sposare
Candido!



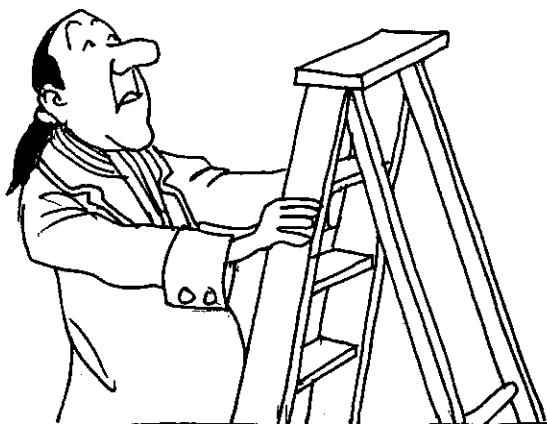
Tutto sommato, quel pilota di aeroplano non aveva mica torto nel voler cabrare il suo apparecchio. La cosa migliore sarebbe trasformarne l'elica di trazione in dispositivo di sustentazione. E già che ci siamo, togliamo le ali.



Allora professore, cosa ne dite di questo?



Potete togliere la scala, adesso metto a manetta.



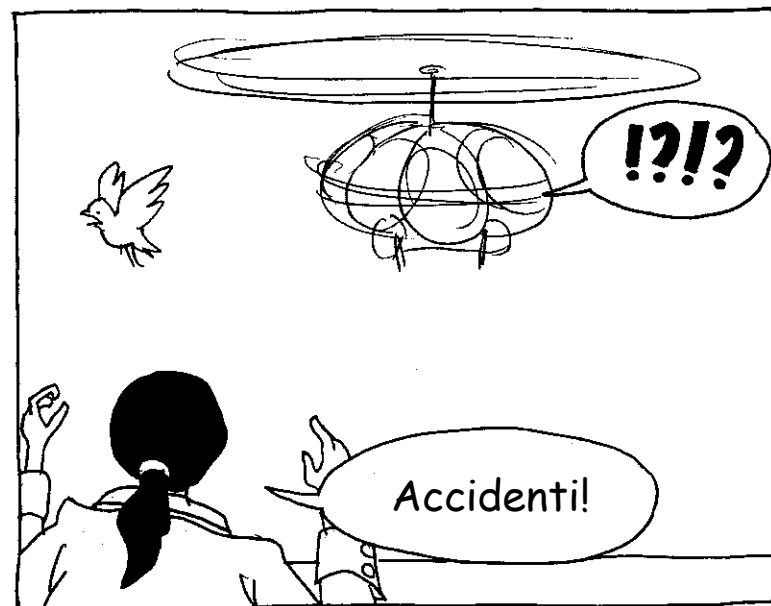
WROAAR

NISBA!?!

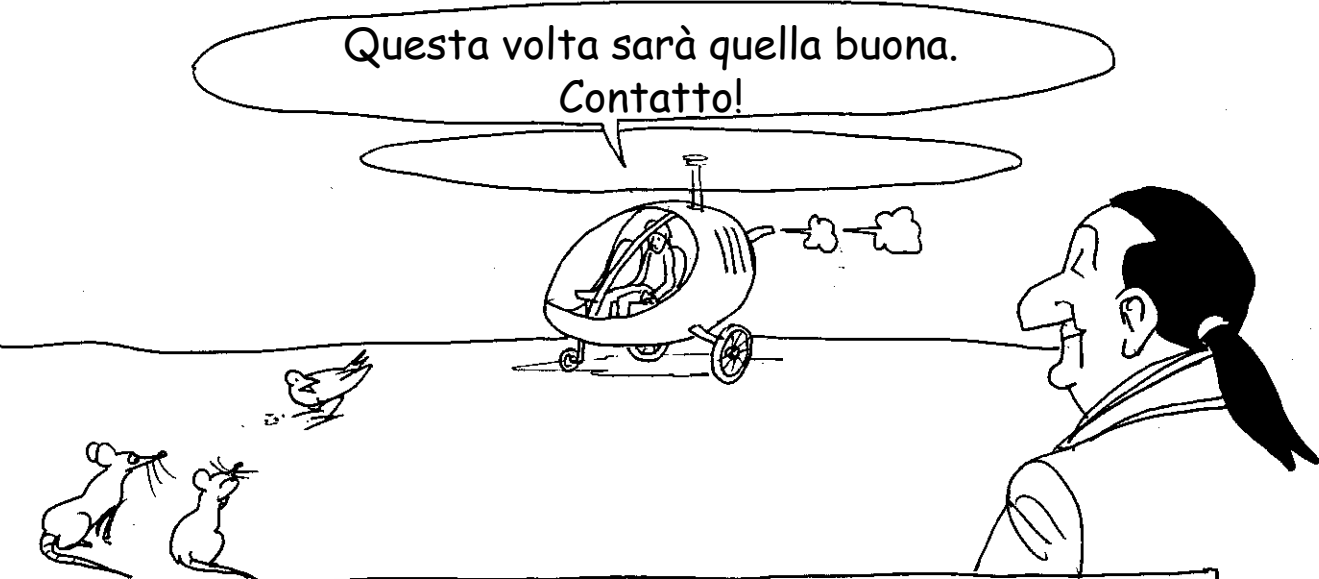
Non spaccatevi il naso, riporto la scala.



LA COPPIA

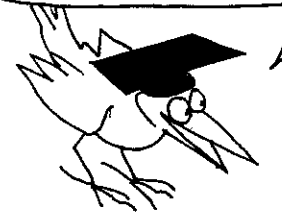


(*) ma tutto ciò che segue vale anche per 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, ... pale.



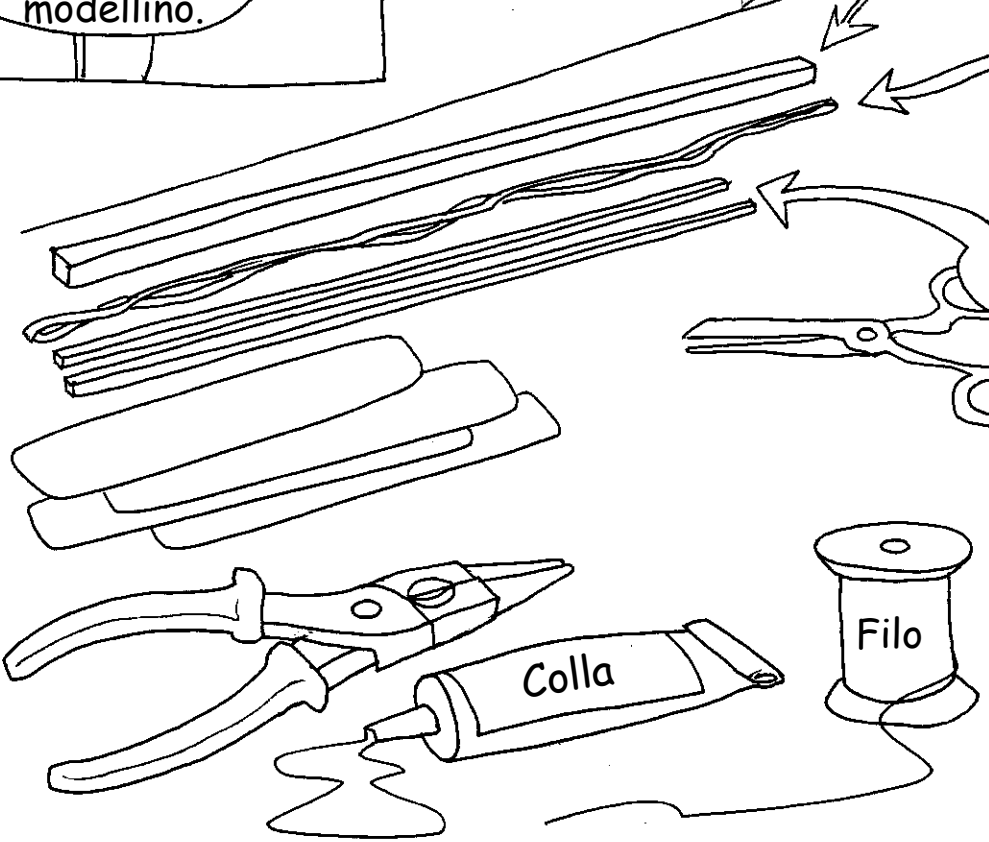
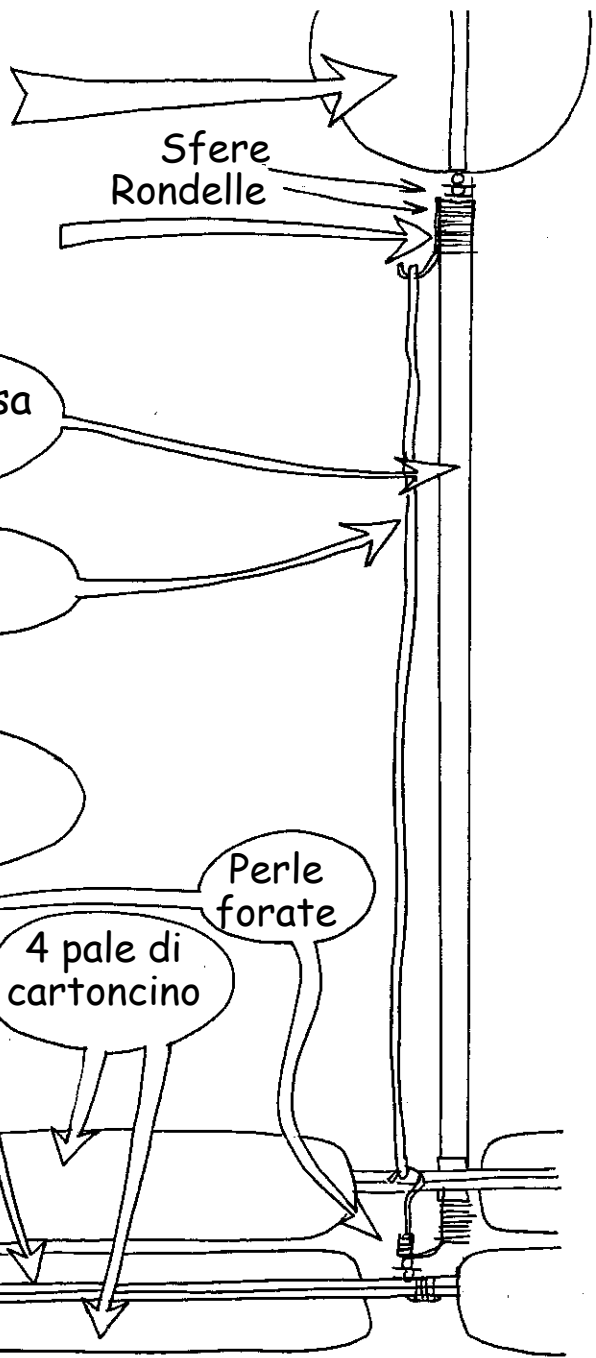


Ecco un elicottero autostabile, dotato di due rotori controrotanti di cui uno è solidale della fusoliera rotante.

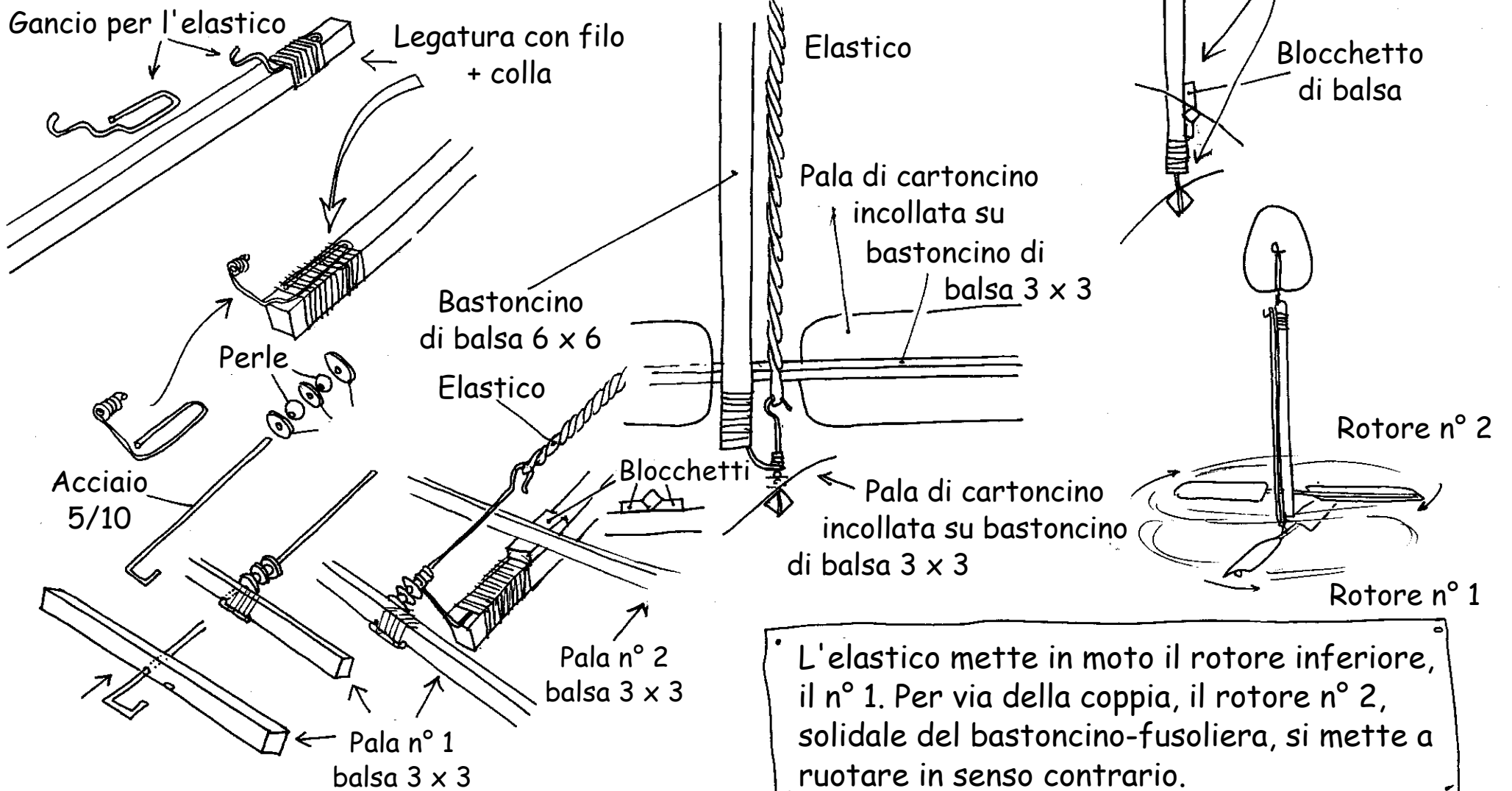


Foglio di cartoncino
Deriva montata "libera"

Filo di acciaio
5/10

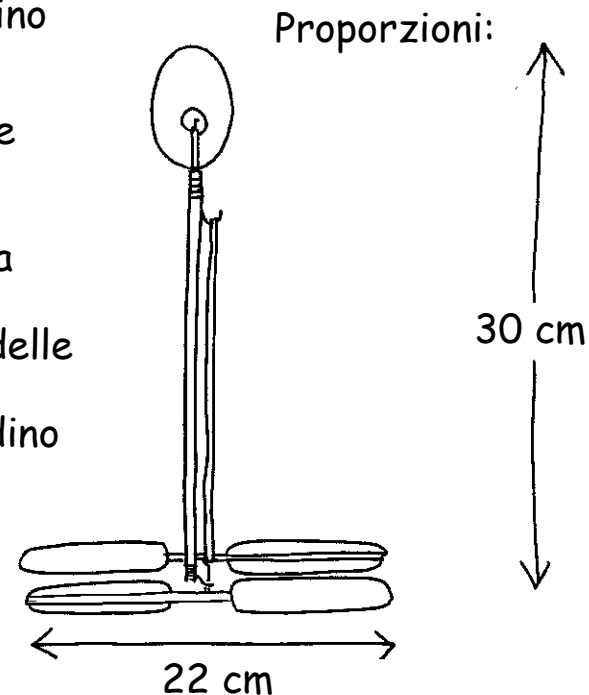
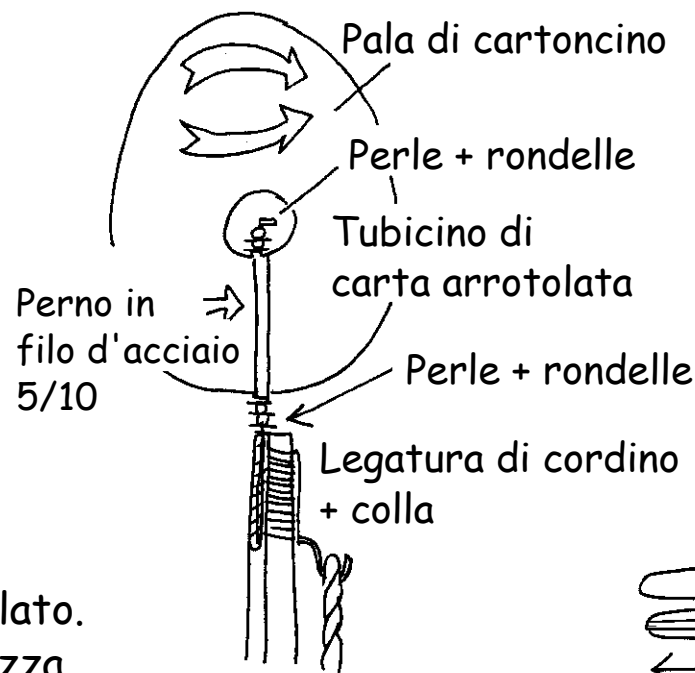


La parte delicata sta nel piegare il filo d'acciaio con l'ausilio di DUE pinze, in modo da ottenere questi particolari.

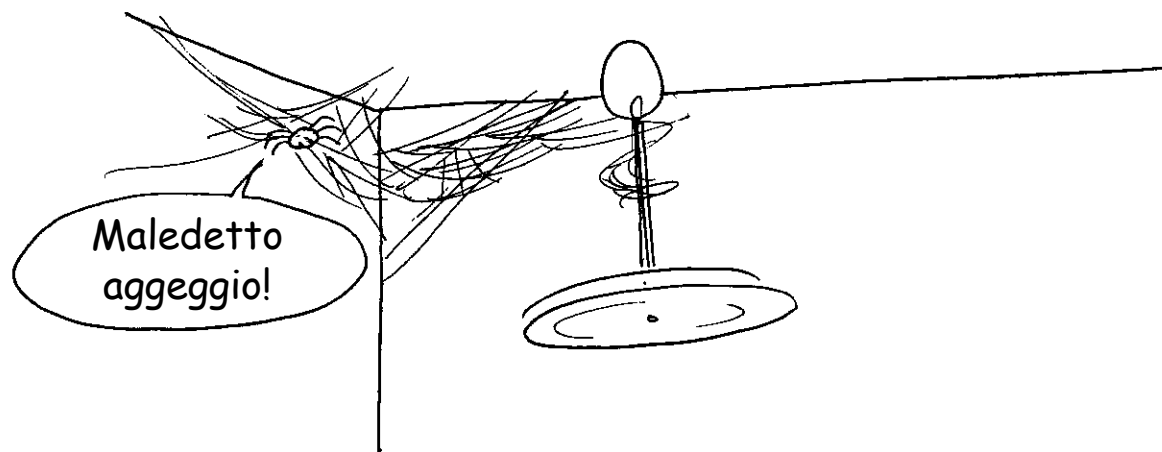
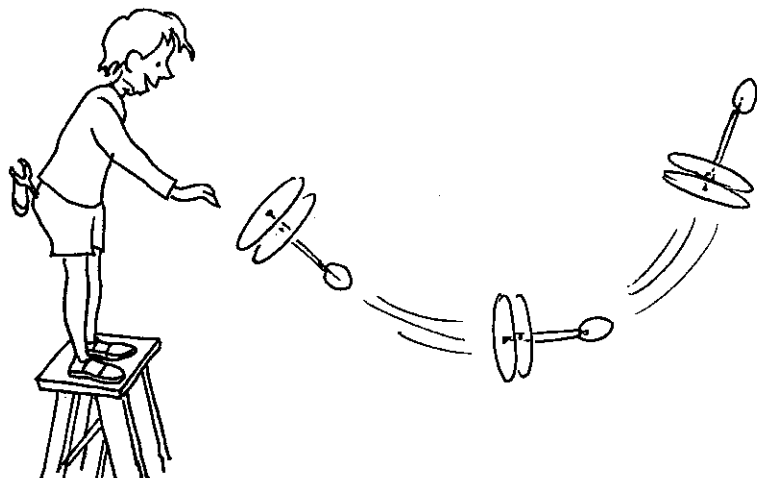


L'elastico mette in moto il rotore inferiore, il n° 1. Per via della coppia, il rotore n° 2, solidale del bastoncino-fusoliera, si mette a ruotare in senso contrario.

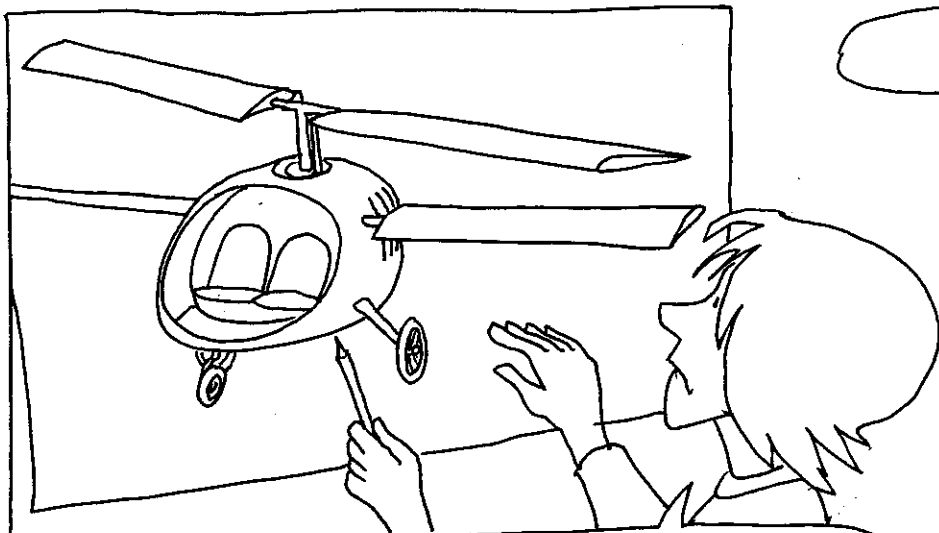
Montaggio della pala superiore,
che rende il velivolo autostabile.



Quando l'elicottero si inclina, parte di lato. Lo sforzo sulla pala superiore lo raddrizza immediatamente. Lasciato a sé stesso, sale dondolandosi (*)

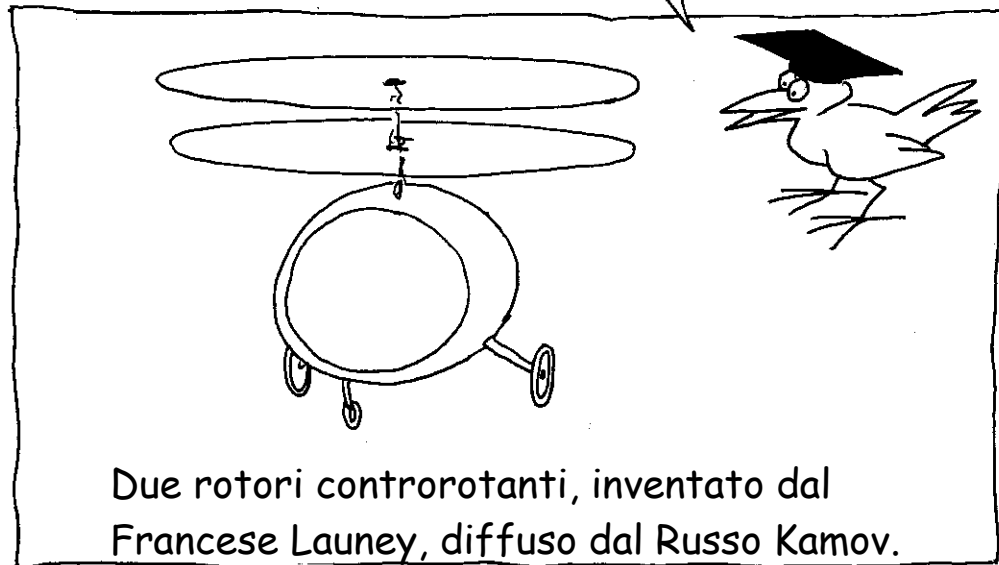


(*) Da bambino usavo questo arnese per togliere le ragnatele dai soffitti molto alti del Castello di Thiors nel dipartimento delle Deux-Sèvres (Francia)



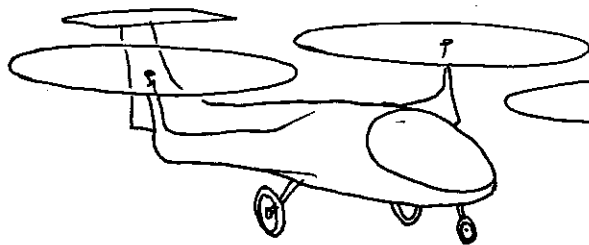
No, questo non va. Nessuno andrebbe a sedersi in una cabina che ruota!!

Candido valutò varie soluzioni.



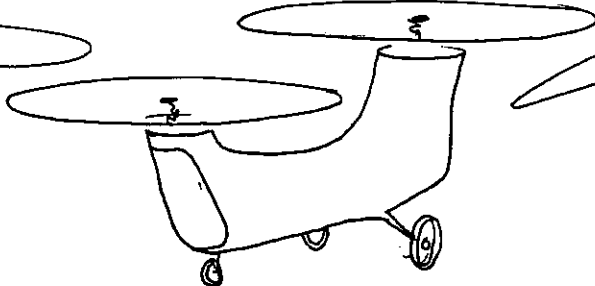
Due rotori controrotanti, inventato dal Francese Launey, diffuso dal Russo Kamov.

Rotori laterali



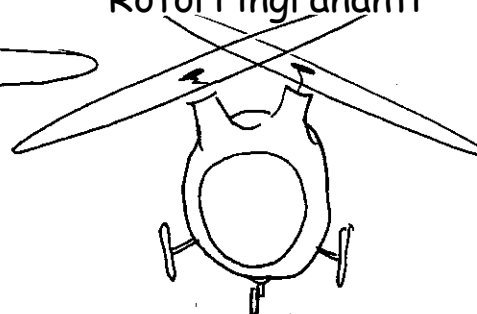
inventato dall'Inglese Cayley, ripreso dal Tedesco Focke

Rotori in tandem



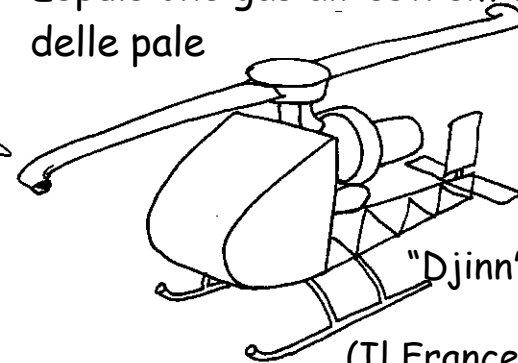
inventato dal Francese Cornu, sviluppato da Piasecki

Rotori ingrananti



del tedesco Flettner, sviluppato da Kaman

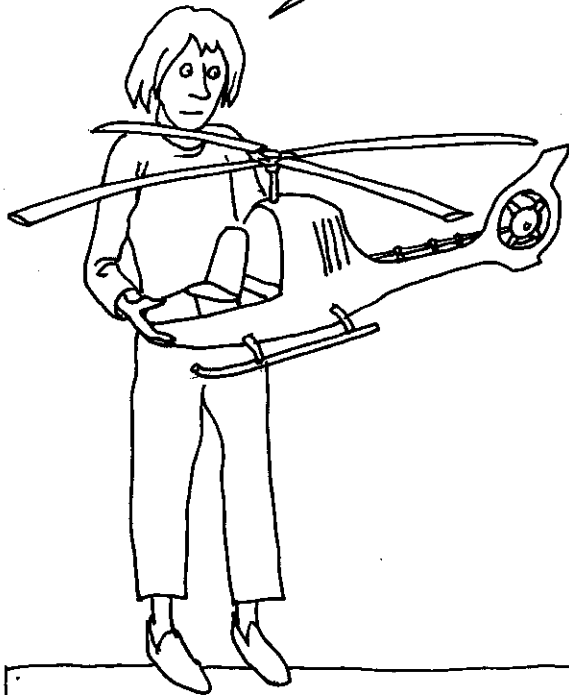
Espulsione gas all'estremità delle pale



"Djinn"
(Il Francese Morin)

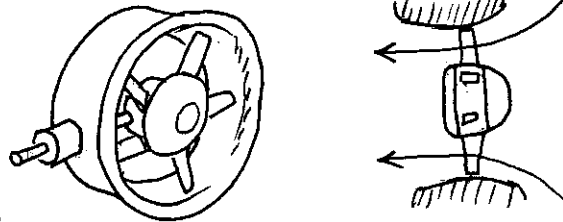
Yves le Bec ha scritto e illustrato con ottimi disegni un'opera intitolata "La vera storia dell'elicottero, dal 1486 al 2005", pubblicata dall'editore Ducretet SA, CH-1022 Chavannes-près-Renens, ISBN 2-8399-0100-5
Vi troverete TUTTI i modelli di elicotteri immaginati dall'uomo.

Adesso inserisco un rotore anticoppia all'estremità dell'impennaggio. Accoppiandolo meccanicamente al rotore principale la cosa dovrebbe funzionare. Quando aumenterò i giri motore, il rotore di coda farà altrettanto e si avrà una compensazione automatica della coppia.



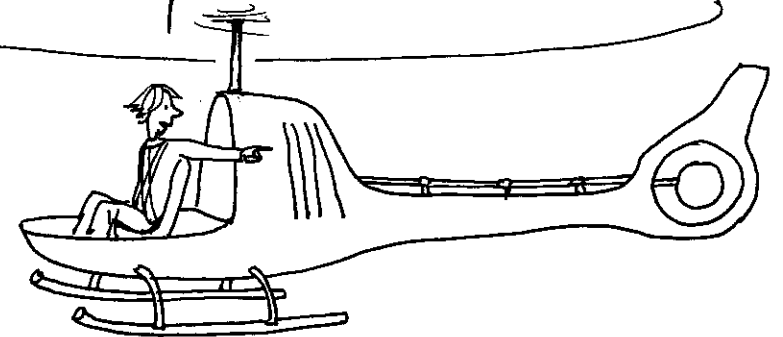
Il rotore di coda anticoppia è stato immaginato dal Russo Yuriev e sviluppato da Igor Sikorski. (*) il rotore intubato è stato invece introdotto dal Francese Mouille.

rotore di coda intubato (*)



Collocando un'elica multipala in una carenatura se ne incrementa il rendimento con riduzione della **RUMOROSITÀ**.

Pangloss, ce l'ho fatta!

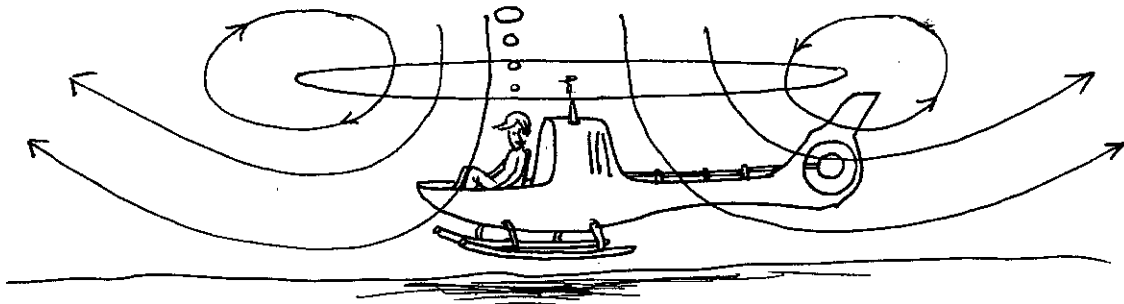


Torna subito indietro se non vuoi essere aspirato e finire affettato.

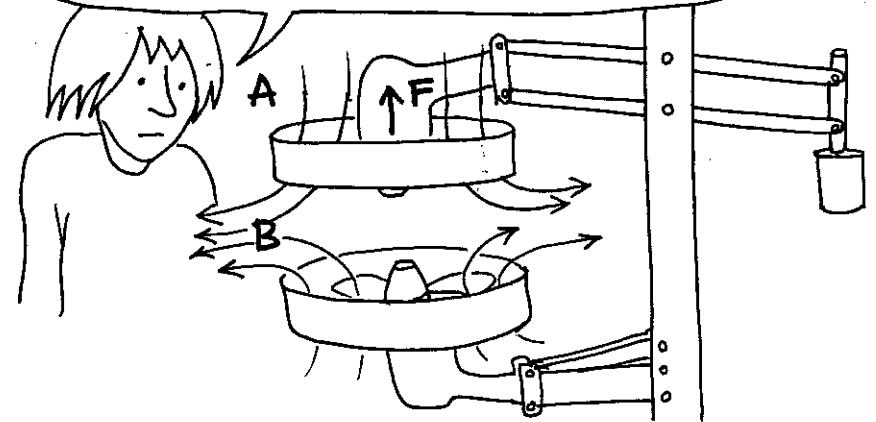
Ciò dimostra che tutto va per il meglio nella migliore delle aeronautiche possibili.

EFFETTO SUOLO

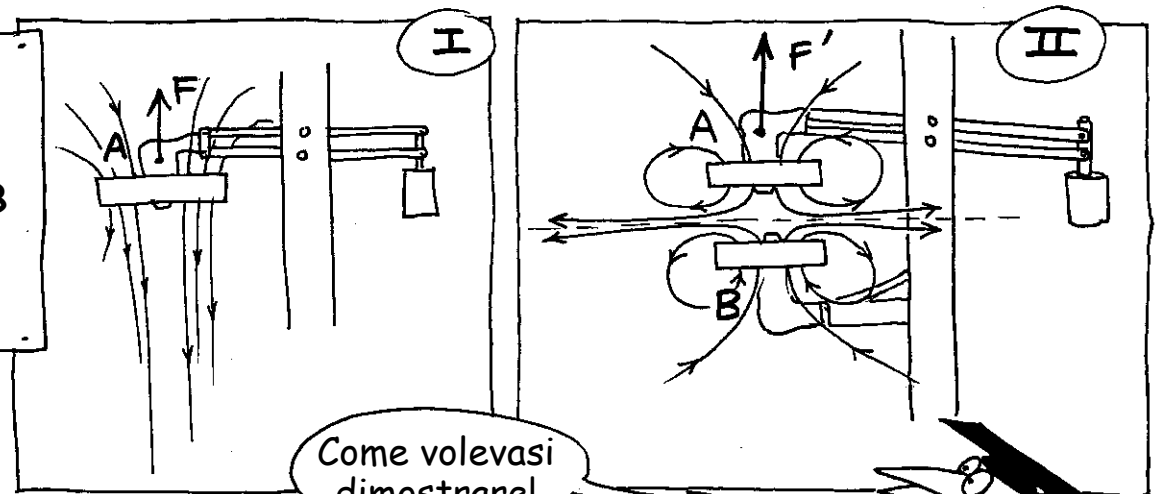
Che strano, raso terra riesco a mantenermi con una potenza sensibilmente inferiore (*)



Questa macchina non è altro che un bel ventilatorone. Ora ne faccio lavorare due l'uno di fronte all'altro.



A parità di giri motore la forza ascensionale che si esercita sul ventilatore **A** è maggiore quando esso lavora di fronte al ventilatore **B** (che spinge l'aria in senso opposto) rispetto a quando **A** lavora da solo.

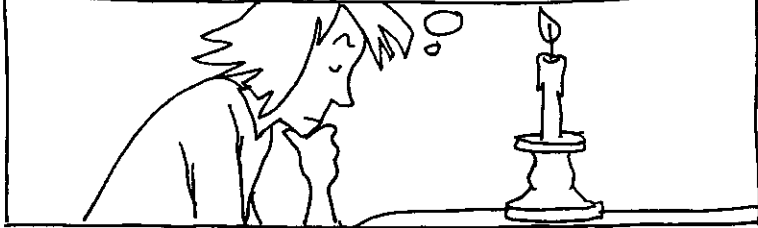


Il flusso **II** è lo stesso che se si facesse lavorare il ventilatore **A** rivolto contro terra.

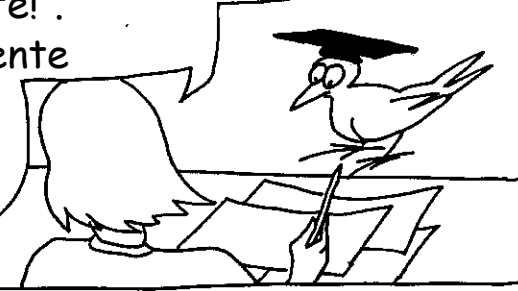
L'effetto suolo diventa consistente quando la distanza tra rotore e terreno è pari o inferiore alla metà del suo diametro.

“PRENDERE GIRI”

Il mio rotore è a passo fisso. Ma che valore dovrei scegliere? Maggiore è il passo, ovvero l'incidenza delle pale, maggiore è la **RESISTENZA AERODINAMICA** che frena la pala.



Se il motore, per un qualunque motivo, perdesse potenza, la resistenza aerodinamica ne rallenterebbe la rotazione (*). Se la velocità corrispondente al **VENTO RELATIVO** diminuisse, il distacco dell'aria (stallo) si estenderebbe all'intero profilo. E se ciò accadesse, “ciao buona notte!”. Occorrerebbe ridurre immediatamente il passo e dare tutta manetta, per far prendere ad ogni costo giri al rotore.



Cosa sta dicendo?

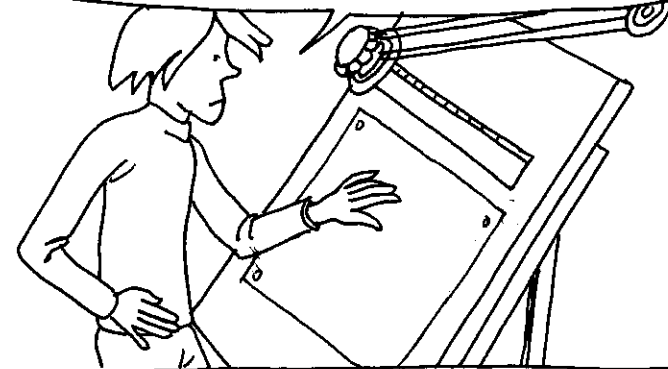


La cosa non ti riguarda. Non mi risulta che tu abbia un'ala rotante!

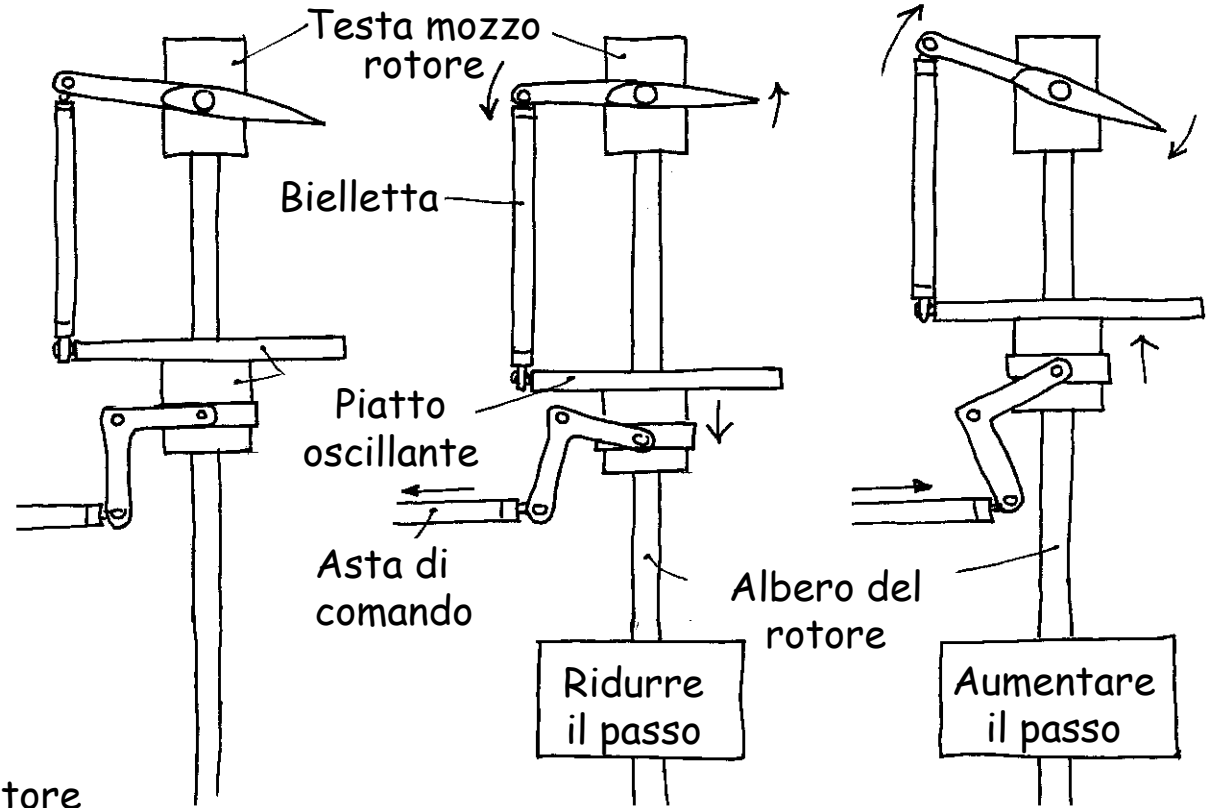
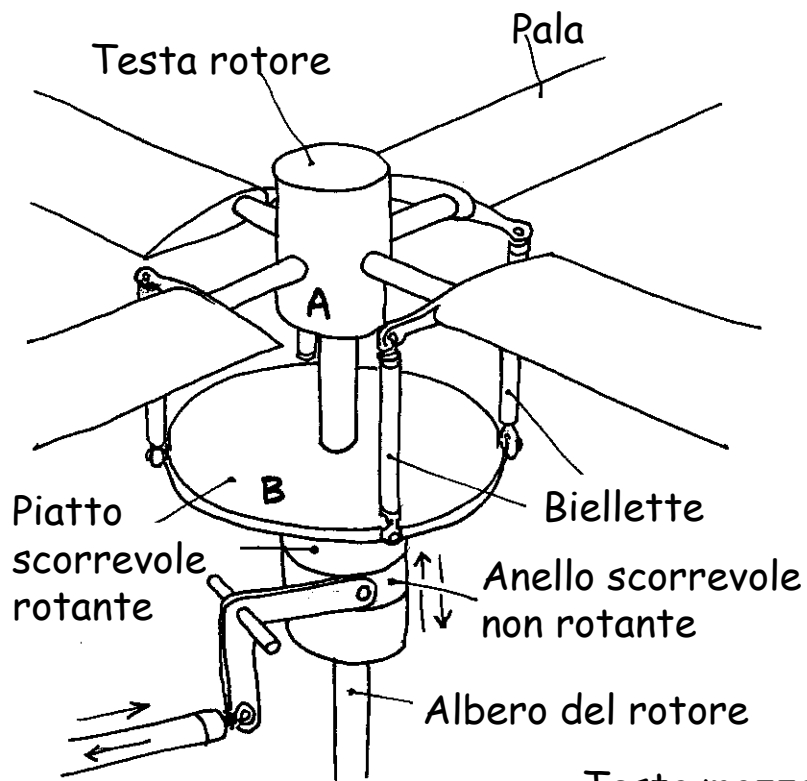
Bèh, non credo...



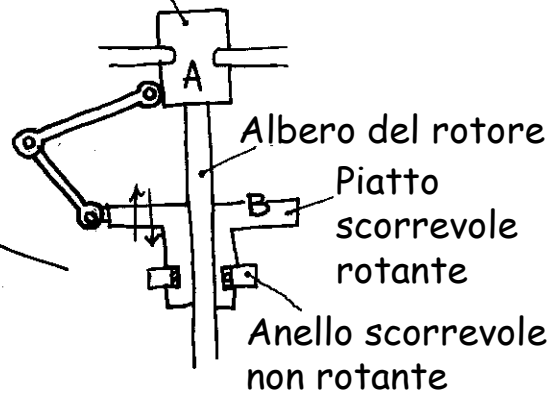
Devo poter variare il passo, ovvero l'angolo di attacco delle pale, quando sono il volo.



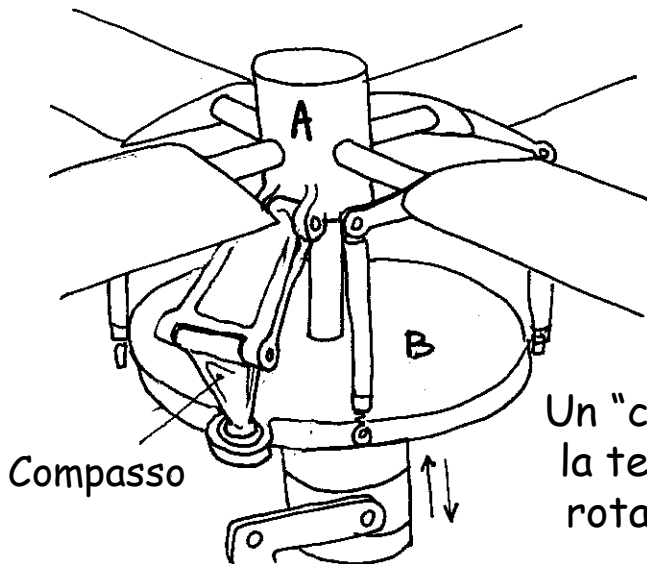
(*) Un rotore il cui motore si fermasse bruscamente rallenterebbe pericolosamente in... un secondo!



Testa mozzo rotore



Un "compasso" snodato costringe la testa del rotore **A** e il piatto rotante **B** a ruotare alla stessa velocità angolare.



Con un sistema di questo tipo si può far variare collettivamente il passo delle pale di un rotore agendo sull'anello non rotante **B** collegato da un supporto a sfere ad un piatto rotante **A** che trasmette l'ordine alle pale tramite bielle.

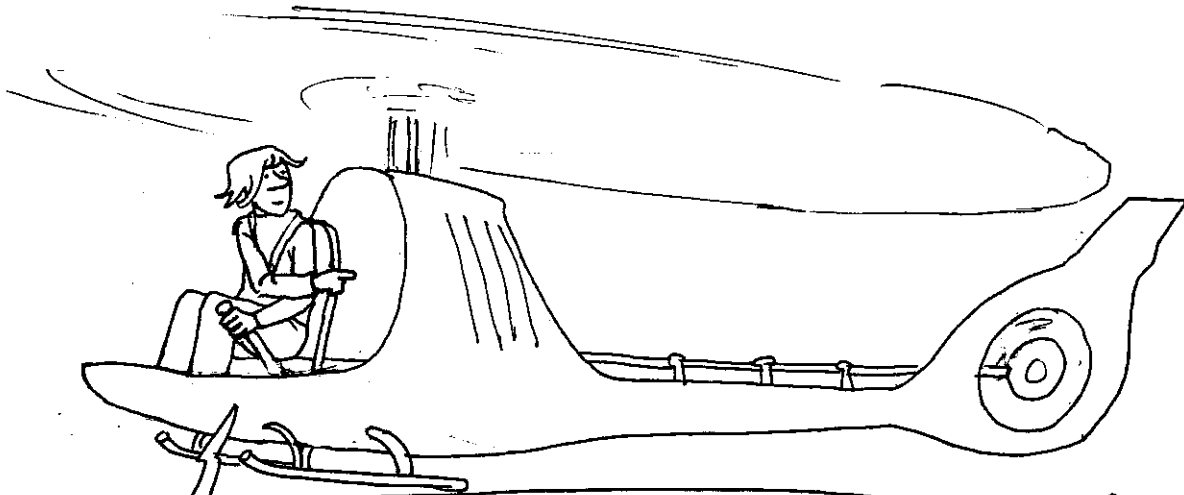
La Direzione

Ho adattato una cinematica di comando che, dalla cabina di guida, mi consente di far variare a volontà il passo generale mediante una leva.

Vi ho anche collocato la manopola di comando dei gas.

Manopola rotante comando gas

Leva verso l'alto: aumento del passo.
Leva verso il basso: diminuzione passo.



Ho adattato lo stesso sistema sul rotore di coda anticoppia, per evitare brusche imbardate quando modifico il passo generale. Ho anche aggiunto un comando ai piedi, una pedaliera, che mi permette di girare sul posto.



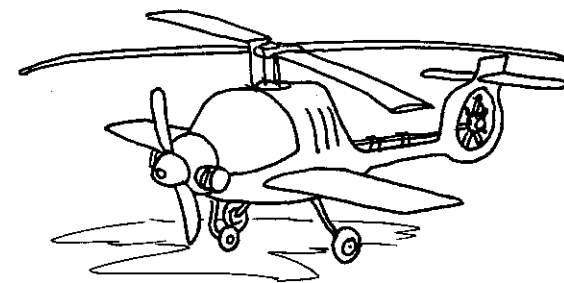
Cosa?
Non sento niente...

Perfetto! Questa macchina volante che ho appena realizzato è in grado di trasportare Cunegonda e me. Posso salire e scendere, girare su me stesso a volontà. Permane una domanda: come faccio ad andare avanti?



Perché non aggiungere un'elica e delle superfici di governo?

Tutto ciò mi pare molto complesso





Questa è la trottola volante, inventata dall'Inglese Georges Caley nel 1796.



Oh, guardate!

Se potessi inclinare il rotore, la macchina si sposterebbe da sola orizzontalmente.



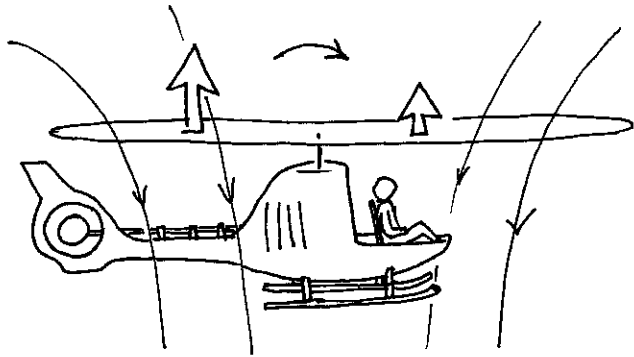
Potreste forse spostarvi all'interno della cabina. Ciò modificherebbe la posizione del centro di gravità.

E nel momento in cui Cunegonda salirebbe a bordo, come potrei bilanciare tutto ciò!?

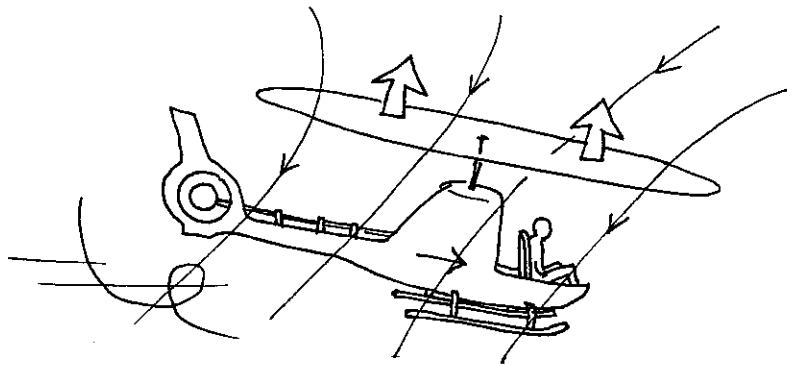


Sto pensando ad un'altra soluzione.

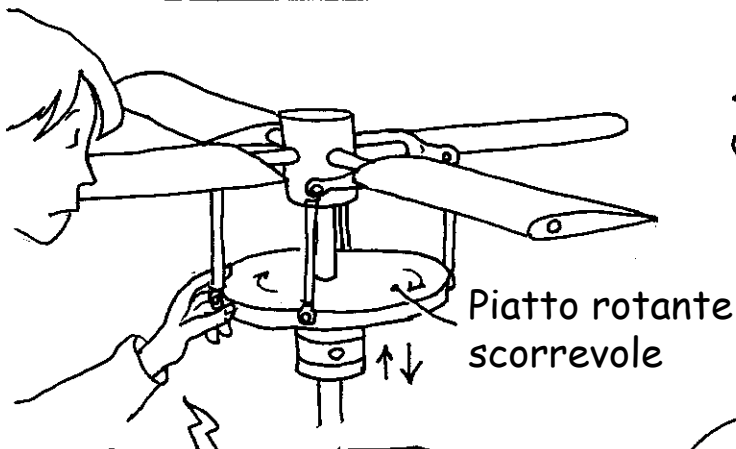
da VOLO STAZIONARIO...



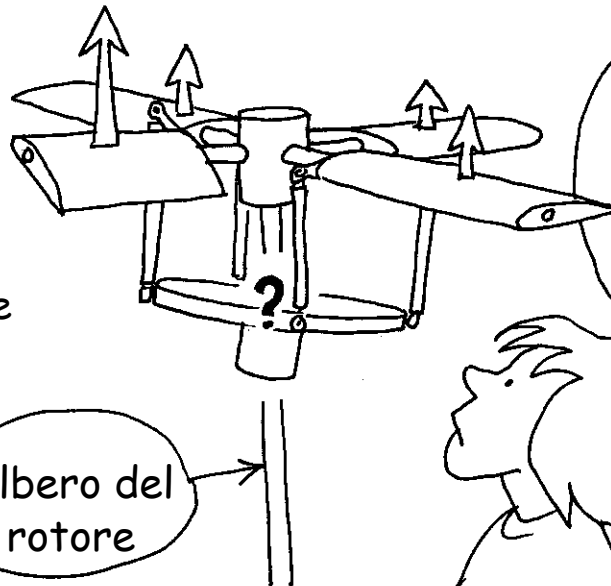
...a VOLO TRASLATO



Se potessi incrementare la portanza delle pale del rotore quando queste si trovano in posizione posteriore e diminuirla quando sono in posizione anteriore, mediante una **VARIAZIONE CICLICA DEL PASSO** potrei provocare un'inclinazione della macchina e inserirla in un **MOTO TRASLATORIO**.



Il passo delle pale è dato dalla posizione di un piatto rotante che scorre sull'albero del rotore.



Se potessi far sì che questo piatto accetti un'inclinazione mentre ruota, potrei creare tale variazione ciclica del passo (*) delle pale. Ma come potrei articolare un simile marchingegno?

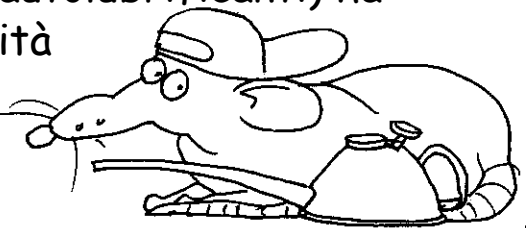
(*) Inventata dallo Spagnolo **PESCARA** che introdusse il concetto di **AUTOROTAZIONE** 37



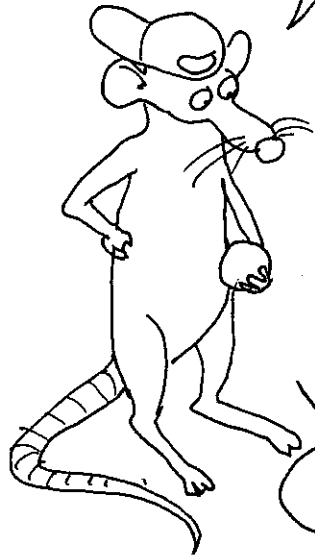
Sfera

Uno dei particolari ha estremità sferica ed è mantenuto nella sua sede mediante cianfrinatura/ribaditura, lasciando una certa libertà di escursione.

La vita di un pilota di elicottero è appesa ad una meccanica complessa, che mette in gioco biellette di questo tipo, ingranaggi, cuscinetti volventi, etc. Tutti questi particolari devono essere lavorati con estrema precisione, tenuti sotto controllo e sostituiti periodicamente. I costi di produzione e di manutenzione sono maggiori che per un aereo. Dagli anni settanta l'introduzione di nuovi materiali (compositi, elastomeri, componenti autolubrificanti) ha consentito di ridurre complessità, peso, costi di produzione, periodicità degli interventi di manutenzione, a tutto vantaggio dell'affidabilità, ma ciò esula dall'ambito del presente fumetto.



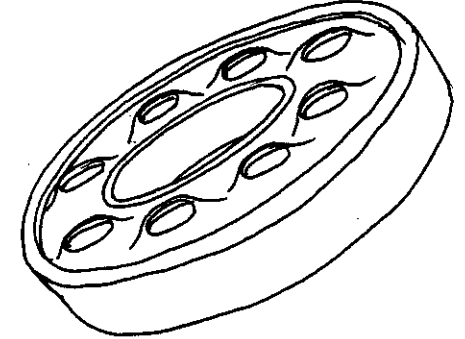
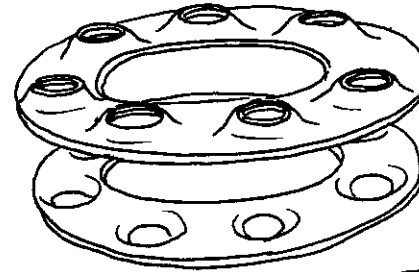
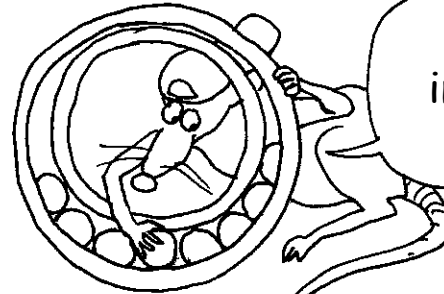
Un elemento importante è il cuscinetto a sfere.



Ma come si infilano queste dannate sfere?



Disassando gli anelli si può introdurre un certo numero di sfere.



Le sfere vengono poi mantenute in posizione da una gabbia costituita da due elementi saldati, graffiati o incollati.

Filettatura

Tacche per chiave di serraggio

Cuscinetto a sfere

R

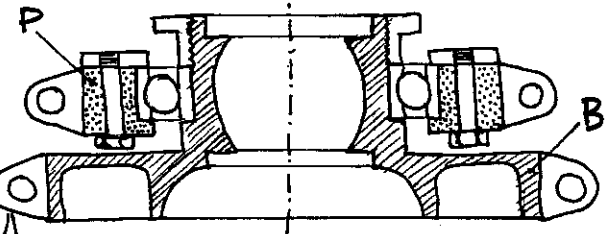
P

B

Filettatura

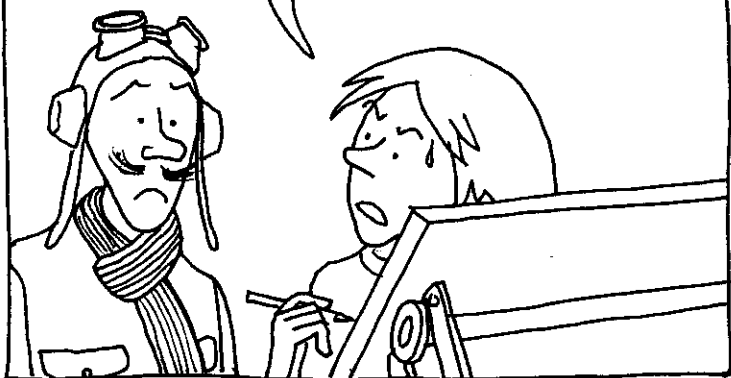
P

B



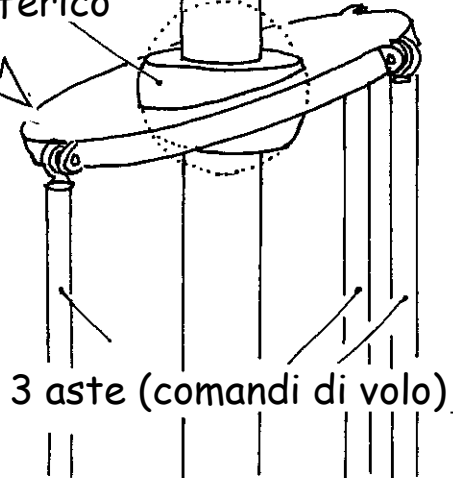
Questo cuscinetto consente a due piatti, l'uno rotante **P** l'altro non-rotante **B** di ruotare l'uno rispetto all'altro mentre rimangono coassiali.

Non vorrei deludervi, vecchio mio, ma dal punto di vista meccanico il vostro aereo fa ridere rispetto alla mia macchina volante.



Su questo snodo sferico oscillerà un piatto **B**, non rotante, la cui posizione verrà definita dalla cinematica dei comandi di volo.

Albero del rotore
Guida
Snodo sferico



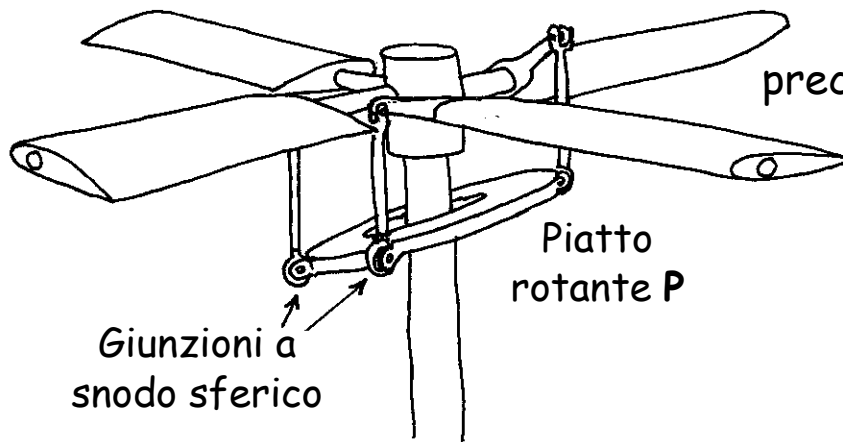
3 aste (comandi di volo)

Per far girare diritto qualcosa che sta di traverso, la soluzione è lo **SNODO SFERICO**.

Uno snodo sferico che scorrerà sulla **GUIDA** all'interno della quale girerà l'**ALBERO DEL ROTORE**.



Il piatto non-rotante **B** sarà solidale (in traslazione) di un piatto rotante **P** attraverso un cuscinetto a sfere (vedi pagina precedente). Il piatto rotante comanderà l'inclinazione delle pale mediante biellette di passo.



Giunzioni a snodo sferico

Piatto rotante P

Prima di concludere questo studio del piatto ciclico vanno affrontati alcuni problemi. Per primo, come rendere solidale (in rotazione) il piatto rotante **P** del mozzo del rotore. Non potremo certo affidare questo compito alle fragili bielle.

No, ci penserà una "forbice". E installeremo lo stesso dispositivo tra il piatto non rotante **B** e la struttura dell'elicottero.

Seconda domanda: come sistemare l'anello interno dello snodo sferico nella sua sede ricavata nel piatto **B**?

Lo snodo sferico comporta un anello in teflon autolubrificante, intagliato, la cui superficie interna è cilindrica e quella esterna sferica. Deformandolo come indicato in figura lo si può introdurre facilmente nella sede sferica.

Possiamo quindi infilare il tutto sulla guida che ospita l'albero del rotore.

Testa/mozzo rotore

Compasso

Bielle di passo

Piatto rotante **P**

Collegamenti mediante snodo sferico

Piatto non rotante **B**

SINTESI A PAGINA SEGUENTE →

PIATTO CICLICO

Attacco
bielletta

Flangia

Attacco aste
della cinematica
di comando

Albero del
rotore I

Guida

Albero rotore

Collare di fissaggio

Filettatura

Compasso II

Ghiera di bloccaggio

Flangia
imbullonata

Piatto
rotante

Piatto
non rotante

Compasso I

Attacco compasso II

Anello di teflon con
intaglio per montaggio
nella sede sferica

Denti per
applicazione
attrezzo di
serraggio

Filett

Sede
sferica

Filettatura
di avviteamento
ghiera di
bloccaggio

Attacchi per
biellette di passo

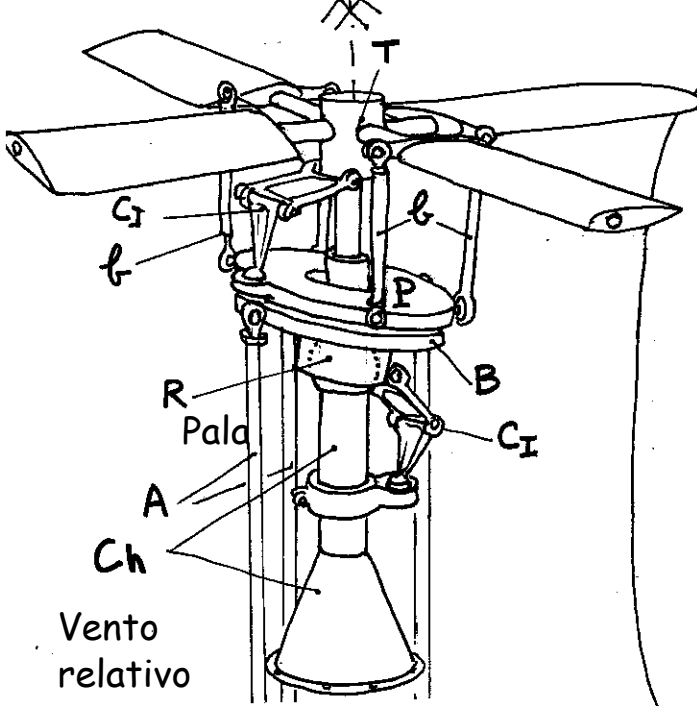
Attacchi per
cinematica di
comando

Attacco
compasso I

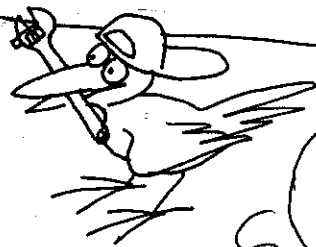
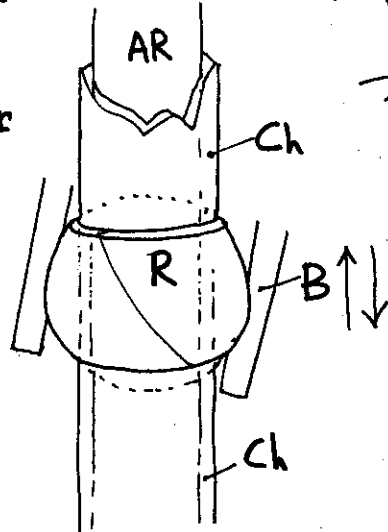
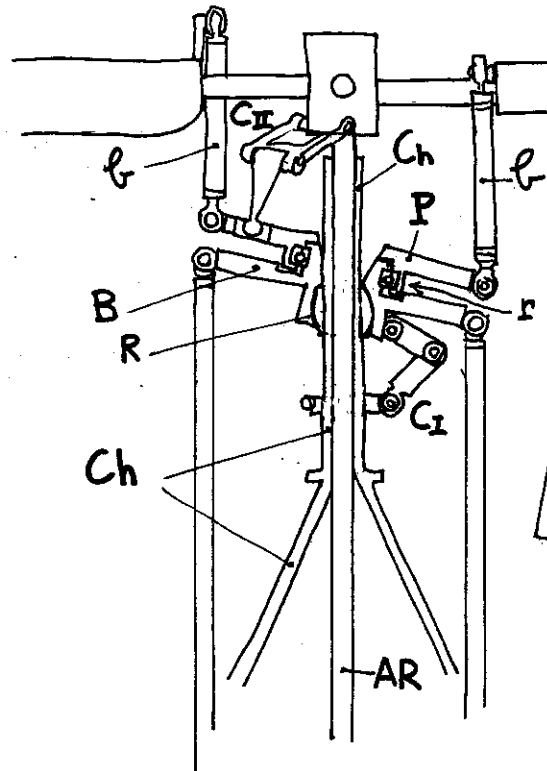
Guida

La meccanica elicotteristica
richiede furbizia progettuale per
ottenere assemblaggi semplici,
robusti, leggeri e costituiti da un
limitato numero di componenti.





Torniamo ad una descrizione schematica più leggibile. Una cinematica di comando costituita da tre aste, fa salire, scendere e basculare in tutti i sensi il piatto non rotante **B**, guidato dallo snodo sferico **R**, che scorre liberamente sulla guida **Ch**, solidale della struttura dell'elicottero. Un primo **COMPASSO CI**, fissato alla guida **Ch** si oppone a qualsiasi rotazione del piatto **B** rispetto alla struttura dell'elicottero (guida **Ch**). Il piatto ciclico rotante **P** è collegato al piatto non rotante **B** tramite un cuscinetto a sfere **r**. L'assetto del piatto **B** è stabilito dal pilota attraverso la cinematica di comando **A**. Il piatto **B** trasmette l'ordine alle pale tramite le biellette **b**. Un secondo compasso **CII** rende solidale la testa/mozzo del rotore **T** ed il piatto ciclico rotante **P**, sollevando da tale incombenza le biellette di passo **b** che diversamente si spezzerebbero immediatamente.

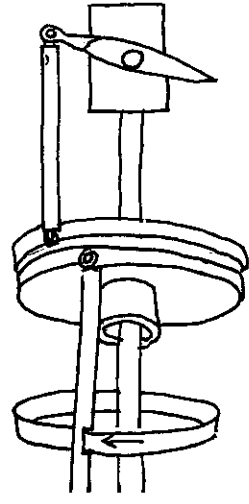
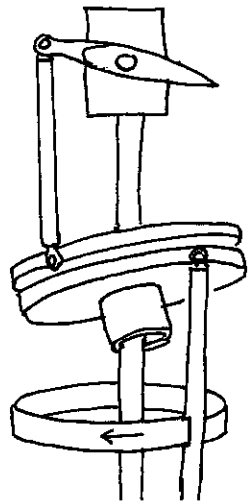
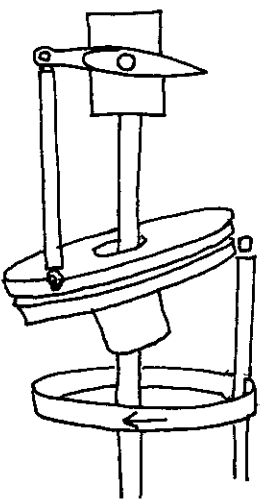
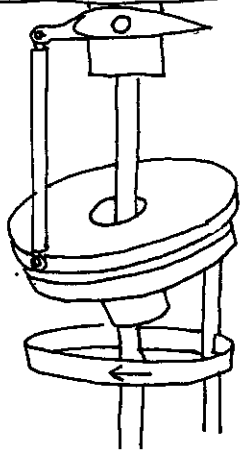


Devo ora progettare dei **COMANDI DI VOLO** che mi consentano di azionare le tre aste verticali.

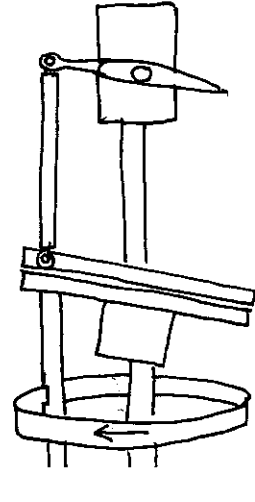
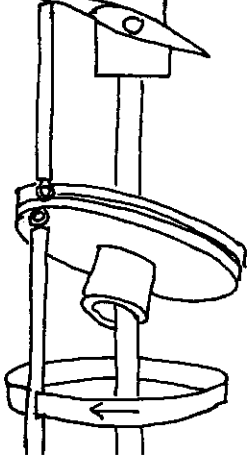


Ed il gioco sarà fatto!

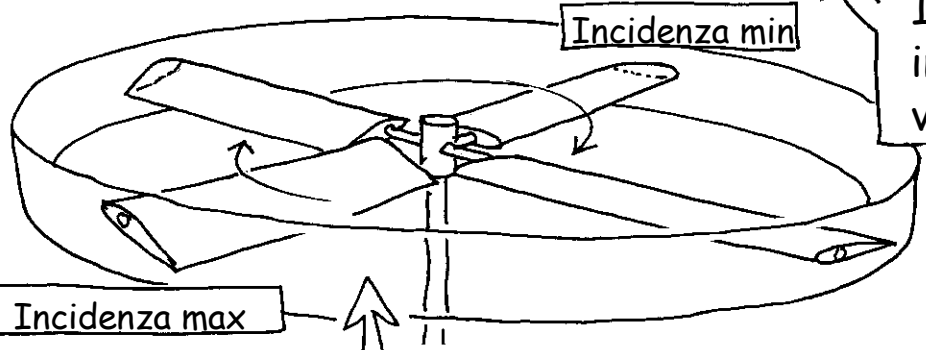
Incidenza min



Incidenza max



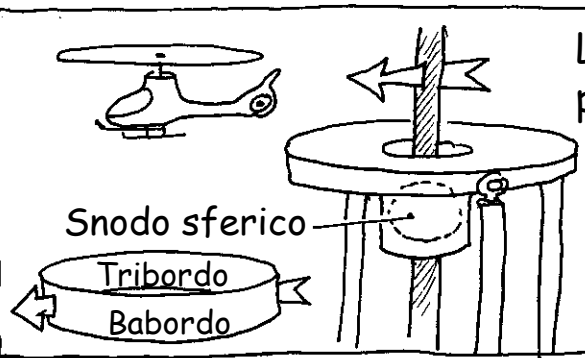
Etc...
In basso il moto apparente di una delle aste di comando



Incidenza max

Qui le pale occupano quattro diverse posizioni nel piano di rotazione.

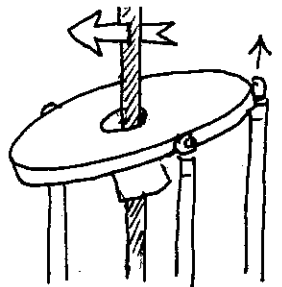
In alto viene accompagnata una pala nel suo moto. La sua incidenza varia periodicamente tra un valore minimo e un valore massimo.



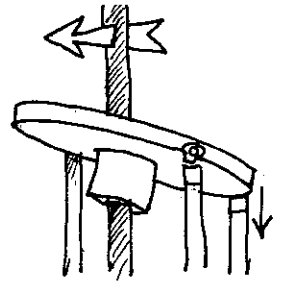
La freccia punta verso la parte anteriore del velivolo.

Tre aste sono sufficienti a controllare l'assetto del piatto non rotante.

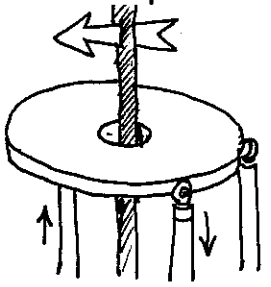
Pilotare l'elicottero incrementando l'incidenza della pala =



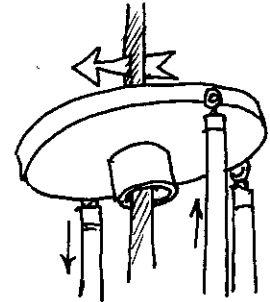
All'indietro



In avanti

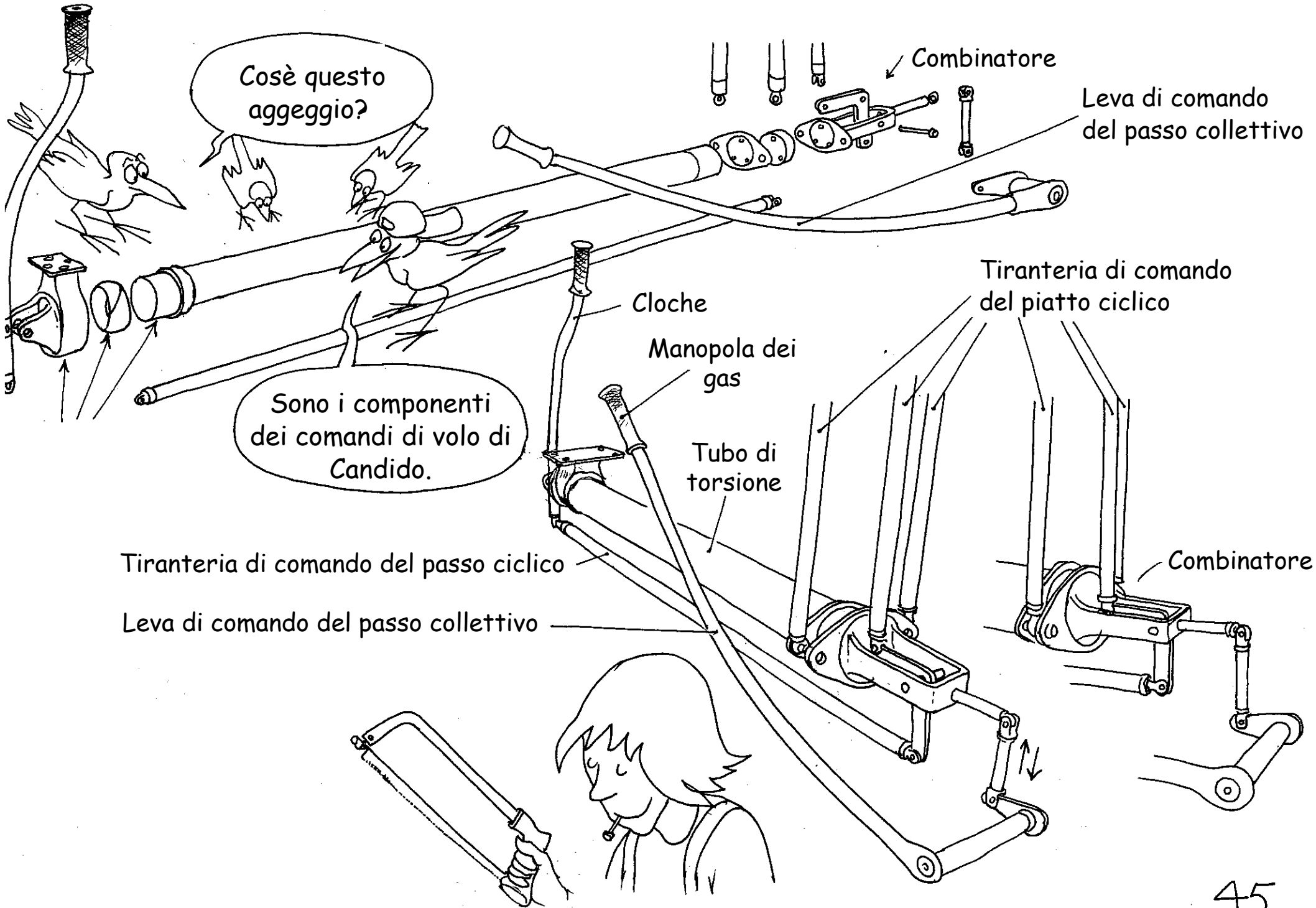


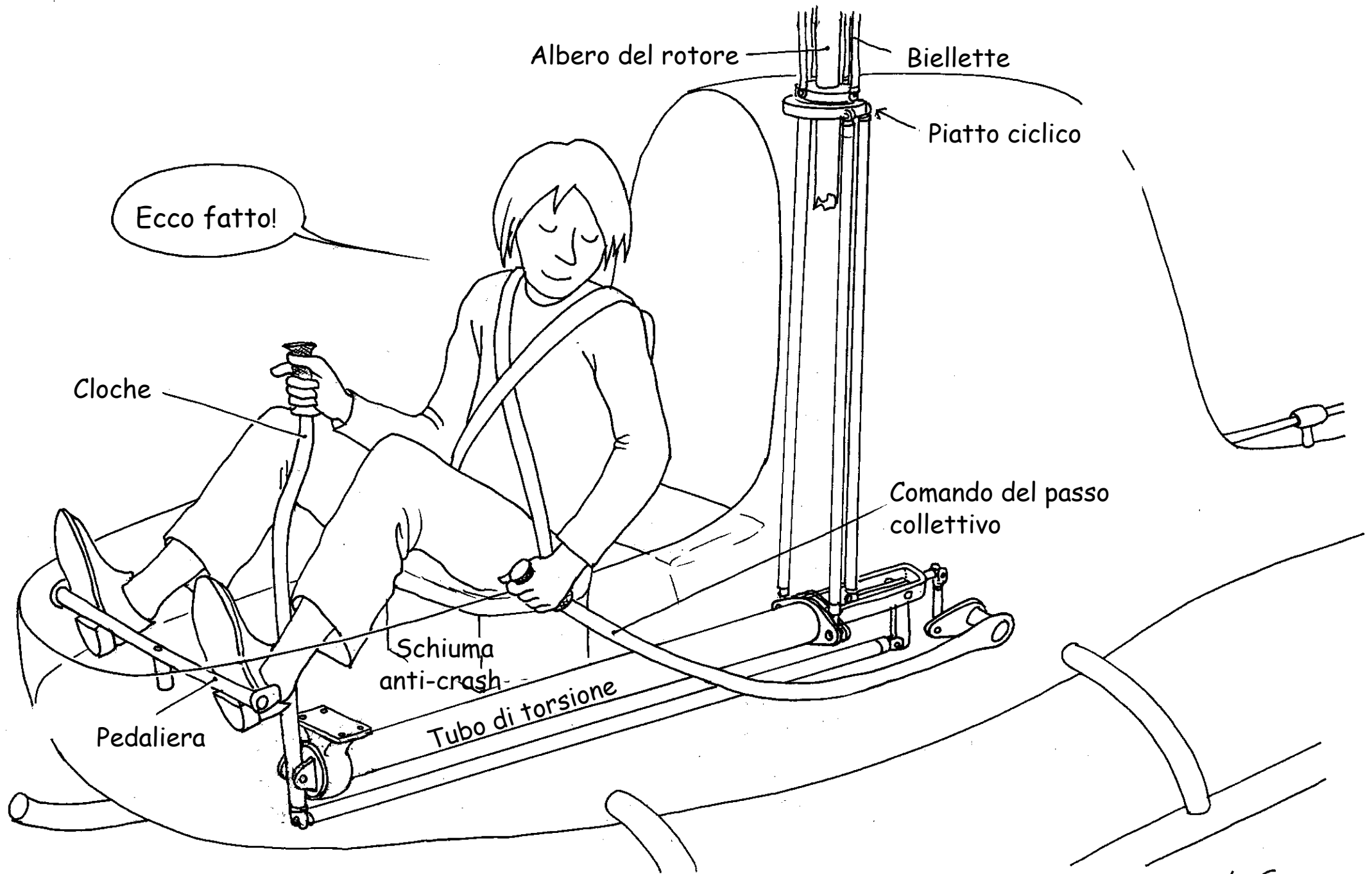
A tribordo



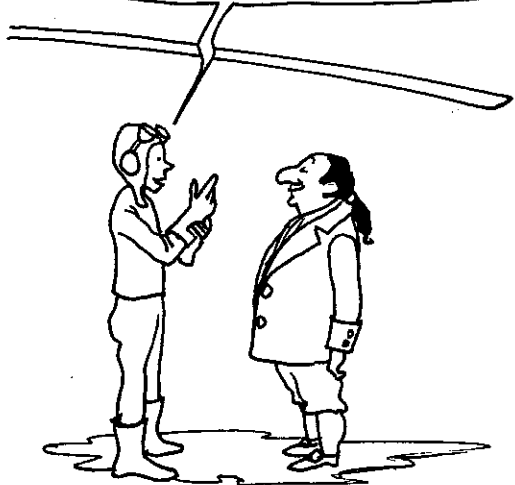
A babordo







Questa volta, Pangloss, è tutto pronto. Vado a liberare damigella Cunegonda.



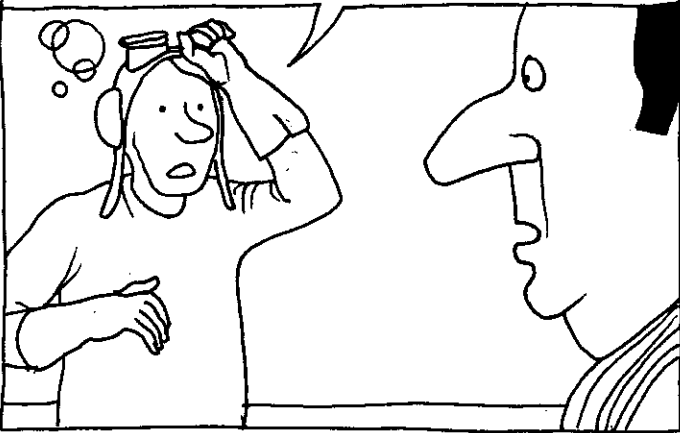
Si parte!



**PATAKLONK
PATAKLONK
PATAKLONK**



Maestro, è terribile. C'erano così tante vibrazioni da temere che la mia macchina andasse in mille pezzi.

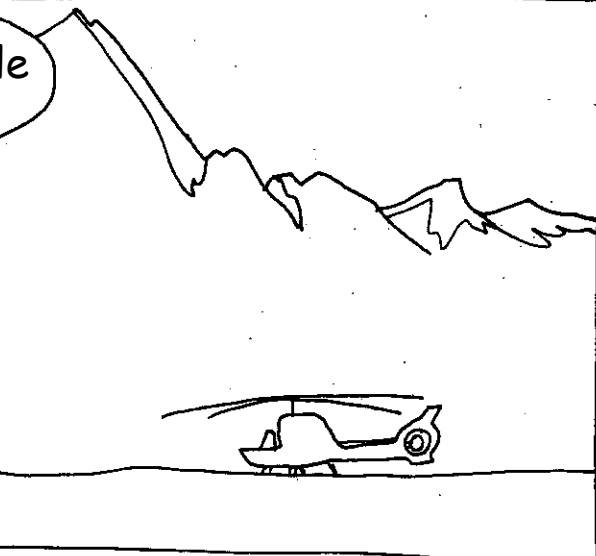


Ma c'è di peggio...



Ditemi, Candido.

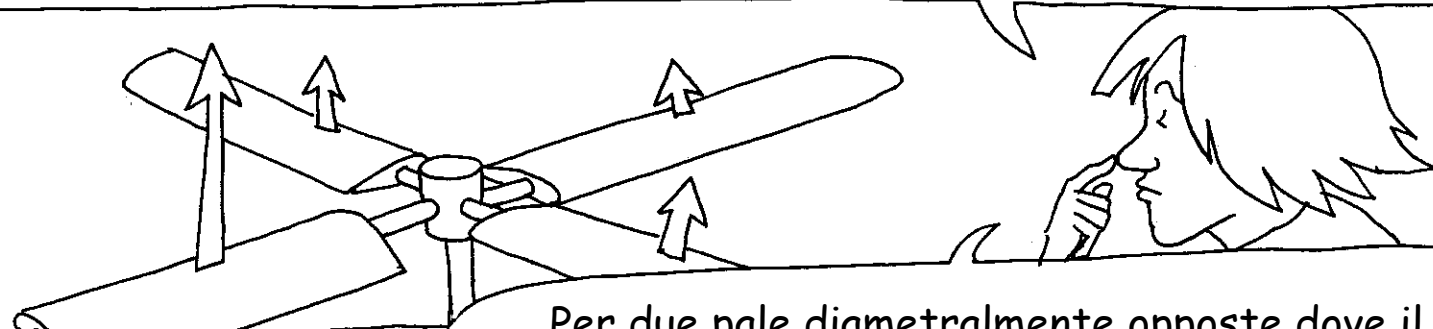
Pensavo di aver messo in opera la miglior delle meccaniche dei fluidi possibili.




Figuratevi maestro che quando ho spinto la cloche in avanti...




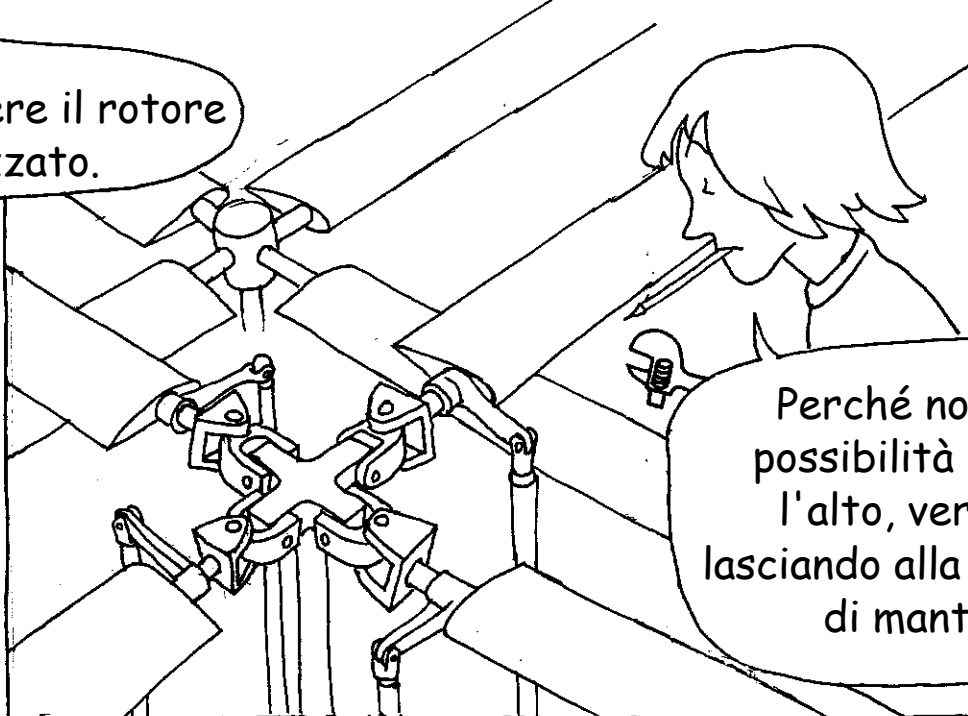
Mi sono accorto benissimo del fatto che la macchina subiva scossoni appena azionata la variazione ciclica del passo. Era come se una mano invisibile avesse afferrato il mozzo del rotore. Ma a guardarci meglio mi sembra di intuire la ragione sufficiente di questo fenomeno.




Per due pale diametralmente opposte dove il passo dell'una è stato aumentato e quello dell'altra ridotto, le forze aerodinamiche differiscono per intensità e direzione e ciò spiega queste vibrazioni insostenibili.




Sentivo che ad insistere il rotore
si sarebbe spezzato.



Perché non consentire alle pale la
possibilità di uno scuotimento verso
l'alto, verso il basso, all'indietro,
lasciando alla forza centrifuga il compito
di mantenerle con fermezza?

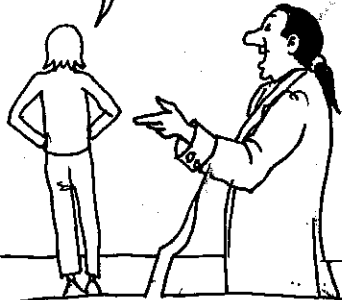


Funziona, Pangloss, funziona! La
macchina trema ancora un po' ma
non in maniera intollerabile.
Tuttavia ai comandi della cloche
continua a rispondere in modo
incomprensibile. Cloche in avanti:
imbarda a destra. Cloche a destra:
cabra e parte all'indietro. Cloche a
sinistra: va giù di muso ed avanza.
Cloche indietro: imbarda a sinistra.



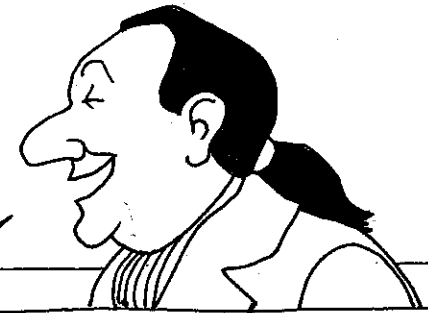
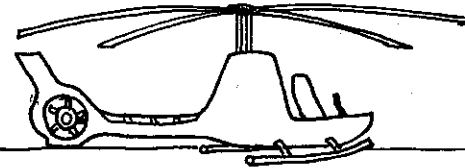
Il che vuol dire che la sua macchina ubbidisce agli
ordini, ma eseguendo gli effetti a... 90°.

È incomprensibile ma assolutamente esatto.



La soluzione l'avete.
Modificate i comandi di conseguenza!

Maestro, di certo non siedero in una macchina il cui comportamento sfugge così tanto al mio intendimento.



Candido, Candido, quante cose hanno per noi aspetto familiare mentre la loro essenza ci rimane sconosciuta. Il Sole, ad esempio, gira intorno alla Terra e non sappiamo perché. Non abbiamo scoperto la natura di quest'orrore del vuoto che fa salire il mercurio nei barometri. La ragione sufficiente di quest'energia nera che provoca la riaccelerazione del Cosmo ci rimane ignota. Dovremmo per questo astenerci dall'osservare e misurare tali fenomeni che la Natura ci offre?



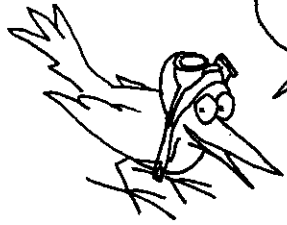
E l'amore, Candido, i teneri sentimenti che nutrite per damigella Cunegonda?



Se questa meccanica del volo è la migliore delle meccaniche possibili, come saranno mai le altre...



SFASAMENTO DEL CICLICO



È qui che si capisce quanto la meccanica di un elicottero sia molto più complessa di quella di un aereo.

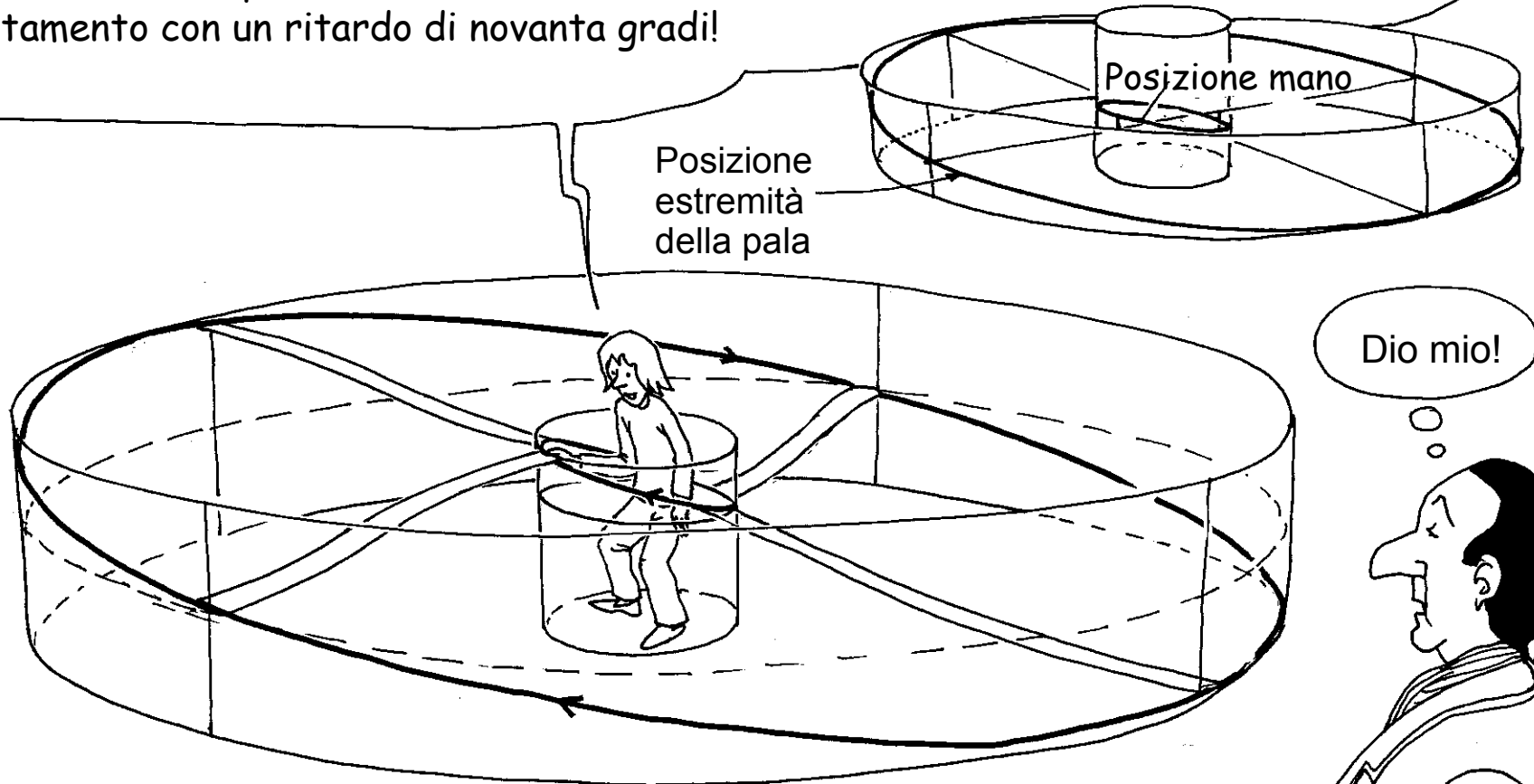
È un vero giramento di... pale!

Tutta questa scienza, tutta questa tecnica per giungere a questo stupido fenomeno che non capisco.

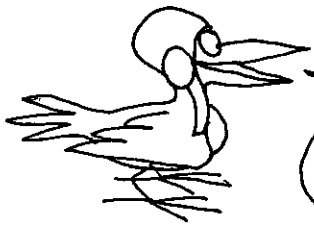


Non vi è effetto senza causa. Devo scoprire la ragione sufficiente di questo comportamento.

Pangloss, credo di aver capito. Quando agito questa pala dall'alto verso il basso mentre giro su me stesso e faccio in modo che il periodo di oscillazione che imprimo alla pala sia lo stesso del periodo di rotazione, per via del combinarsi della sua elasticità e della sua inerzia essa segue lo spostamento con un ritardo di novanta gradi!



Dio mio!



In termini scientifici ciò traduce il comportamento di un **SISTEMA DEL SECONDO ORDINE.**

Questa ragione sufficiente sembra collocarsi, lo ammetto, oltre il mio intendimento.

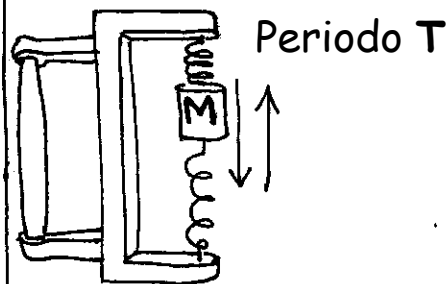
Adesso capirete, maestro, grazie a questo apparecchio chiamato **ELASTOTRON**.

Non cercategli un uso pratico in quanto quest'apparecchio serve solo a spiegare il singolare comportamento delle pale degli elicotteri.

Pensavo trattassimo di meccanica dei fluidi.

Mi spiego: se allontanano la massa **M** dalla sua posizione di equilibrio, oscillerà con un certo periodo **T** chiamato **PERIODO PROPRIO DI OSCILLAZIONE**.

Se sollecito l'apparecchio scuotendolo dall'alto verso il basso con lo stesso periodo **T**, la massa **M** "risponderà" **"IN CONTROFASE"**.



Di sicuro nuoterete come una scarpa!

Nuotare?

Impugnate l'Elastotron dal lato massa e scuotetelo secondo il suo periodo proprio T .

Bene, lo afferro così e scuoto secondo il suo periodo proprio di oscillazione.

Lascia perdere caro, non andiamo a cercarci grane con quel pinguino. Il fumetto è già abbastanza complesso!

L'impugnatura risponde in **CONTROFASE**.

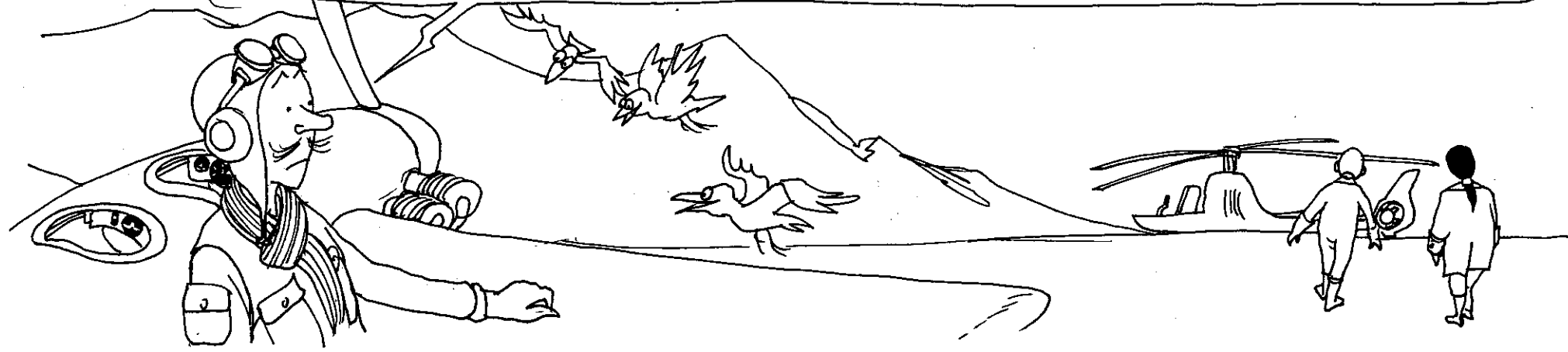
Trasponiamo ora all'elicottero. Prima scuotevo le pale in **FASE** con il movimento di rotazione su me stesso. In volo sono le pale a "scuotere" la macchina. Occorre quindi predisporre per ciascuna un'**ARTICOLAZIONE DI FLAPPEGGIO**.

Hmm, capisco...



La seconda articolazione è l'**ARTICOLAZIONE DI BRANDEGGIO**, che consente alle pale di oscillare in questo modo. Se queste articolazioni non esistessero, l'elicottero verrebbe sottoposto a tremende vibrazioni che potrebbero portare alla rottura del rotore (*).

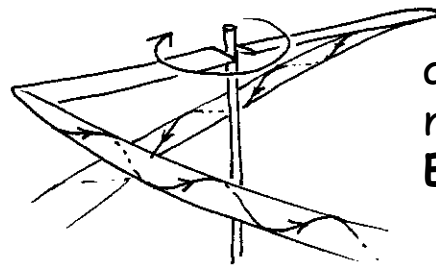
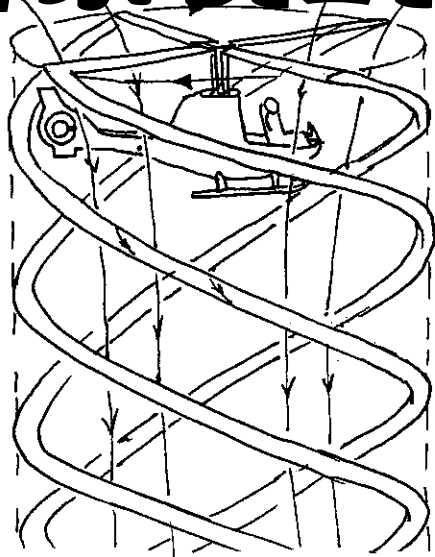
Chissà se ho anch'io problemi di risposta di sistemi del secondo ordine?



(*). Sin dalle prime prove con l'**AUTOGIRO**, lo Spagnolo **DE LA CIERVA** dovette introdurre al più presto questa soluzione di "pale snodate più ammortizzatori", pena la rottura del rotore.



TRANSIZIONE



Le pale dell'elicottero sono
ali molto lunghe che lasciano
nella loro scia dei **VORTICI DI
ESTREMITÀ**.



Questa inutile
turbolenza costituisce
una perdita di energia.



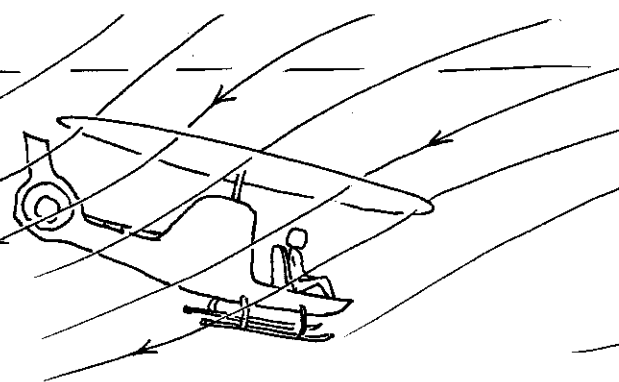
A questi vortici che si
creano all'estremità dell'ala dobbiamo il
fenomeno di condensazione del vapore
acqueo ad alta quota (scia di condensazione).

Quando l'elicottero passa in volo traslato, la scia risulta essere totalmente modificata. L'entità dei vortici diminuisce e di conseguenza la macchina può garantire il proprio sostentamento con un minor dispendio di energia.

La Direzione



Uccello in volo stazionario:
forte turbolenza.



Uccello in volo traslato

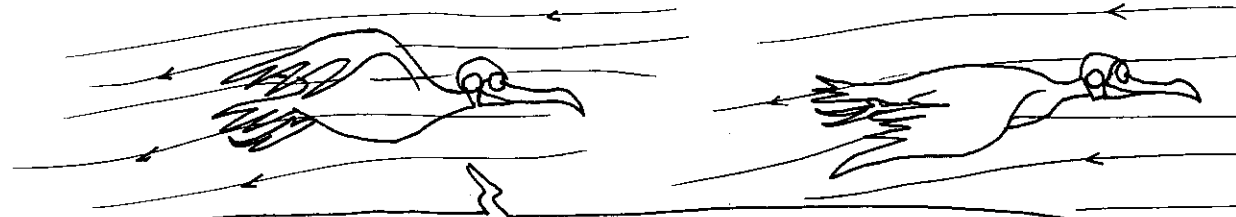
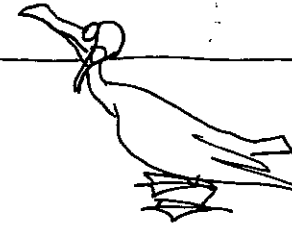
Ammetto di non capirci niente di questa faccenda di **TRANSIZIONE**



Nulla di complicato. Guarda come decolliamo.

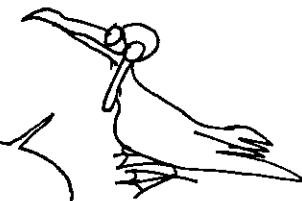


Per mantenerci in volo stazionario consumiamo energia creando turbolenze.



In volo traslato l'aria scorre tra le piume con meno turbolenze. Spingiamo sempre aria verso il basso ma consumando meno energia.

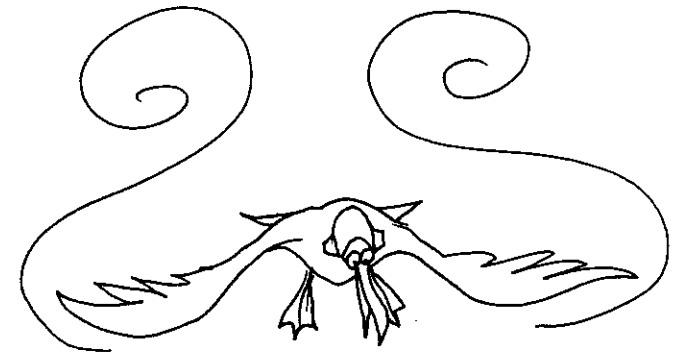
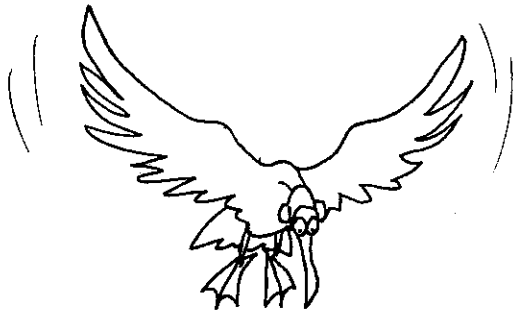
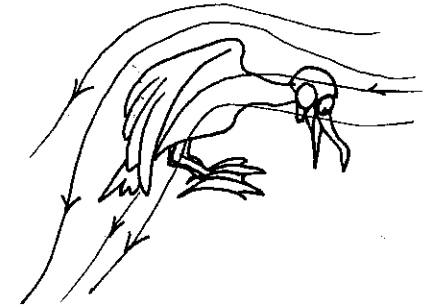
E nella transizione inversa?



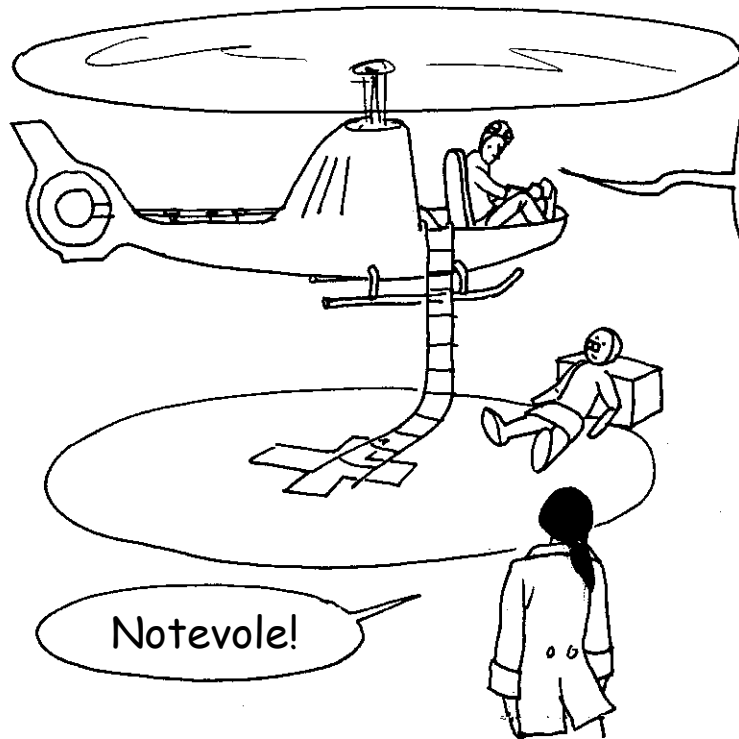
Mica difficile. Se vedi qualcosa di interessante di sotto, metti un pesce...



...fai una cabrata per stroncare la velocità e immobilizzarti in aria.



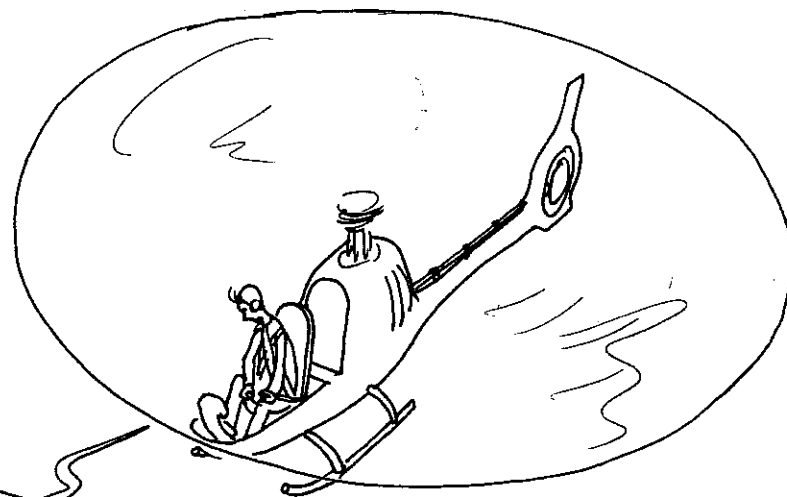
E qui torni in regime di volo stazionario, con creazione di una forte turbolenza quindi consumando più energia.



Pangloss, ora sono finalmente pronto. Questa macchina è straordinariamente stabile e maneggevole. Appena Cunegonda sarà salita a bordo, filerò via al più presto per metterci fuori dalla portata degli arcieri del barone.

Notevole!

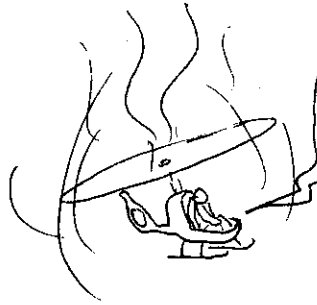
Mi basterà avvicinarmi rimanendo ad un'altezza sufficiente. La gente non guarda mai in aria. Poi scenderò spedito verso il terrazzo.






Accidenti
che instabilità!

E vibra
anche!



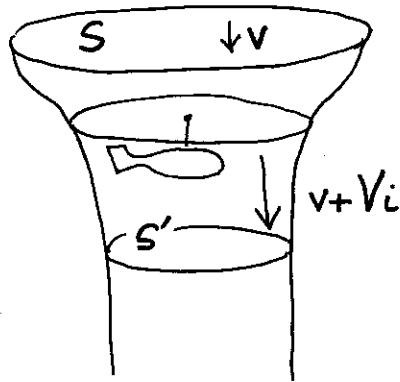
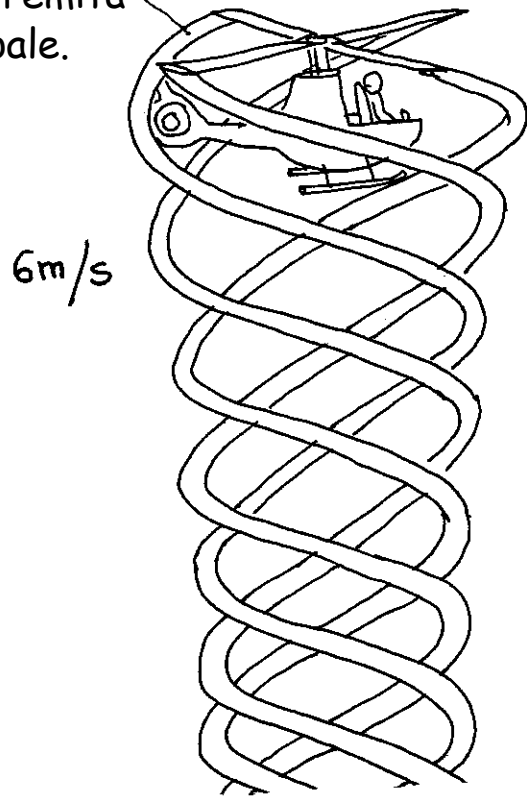
Ho la sensazione che il mio elicottero
poggi su una sorta di massa informe,
totalmente instabile. Devo uscirne al
più presto. Certo che con la discesa
verticale rapida non ci siamo proprio.



Ho mancato l'obiettivo, Pangloss.
L'approccio completamente verticale non va
per niente bene.

VELOCITÀ INDOTTA

Vortici
all'estremità
delle pale.



$$\rho v S = \rho (v+V_i) S' \quad (*)$$

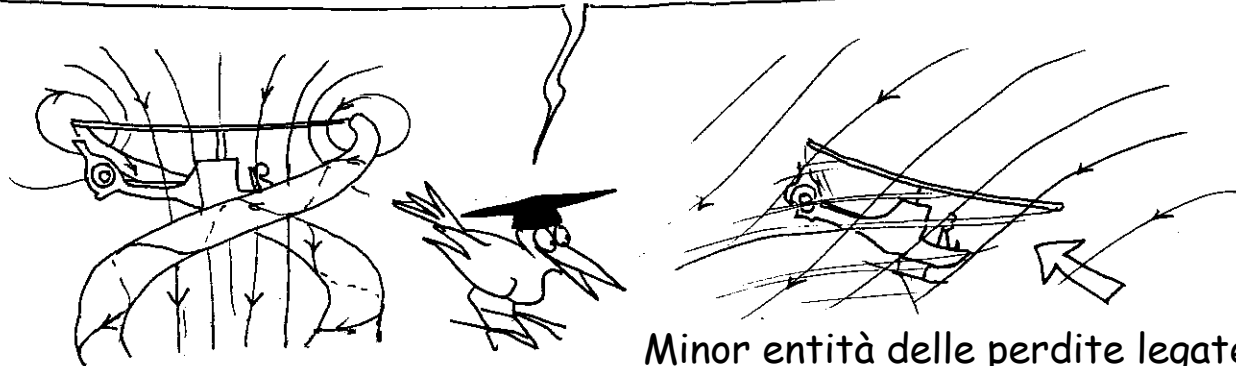
Il fatto che un elicottero si sostenti "buttando aria verso il basso" implica che si comunichi all'aria una **VELOCITÀ INDOTTA** V_i che è nell'ordine dei 6 metri per secondo. Rilasciando fumo all'estremità delle pale si riuscirebbe a materializzare il fenomeno.



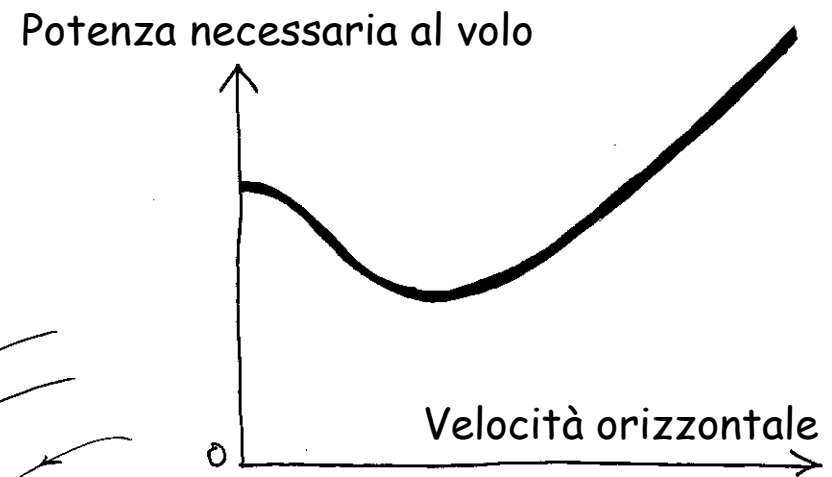
Un aereo vola anch'esso "mandando aria verso il basso" benché questo effetto di velocità indotta sia meno apparente.

(*) Questa relazione esprime la conservazione del flusso d'aria a massa volumica ρ costante. Ciò implica che la sezione S' debba essere minore della sezione S .

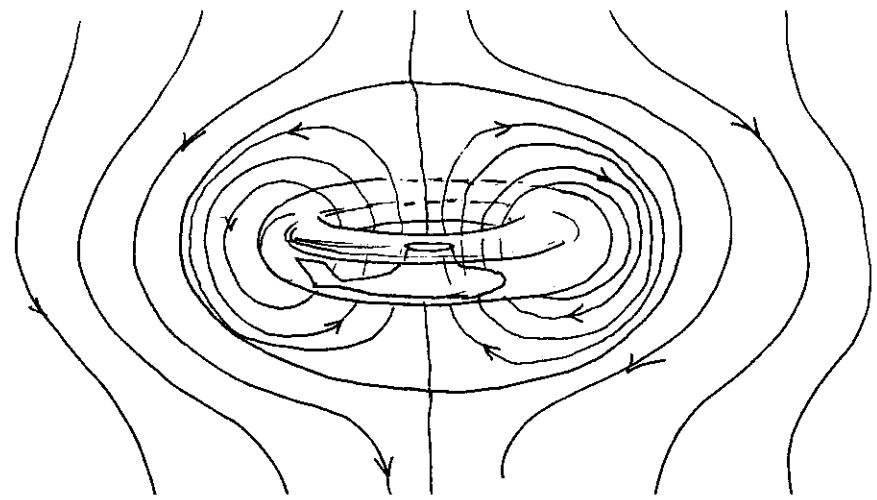
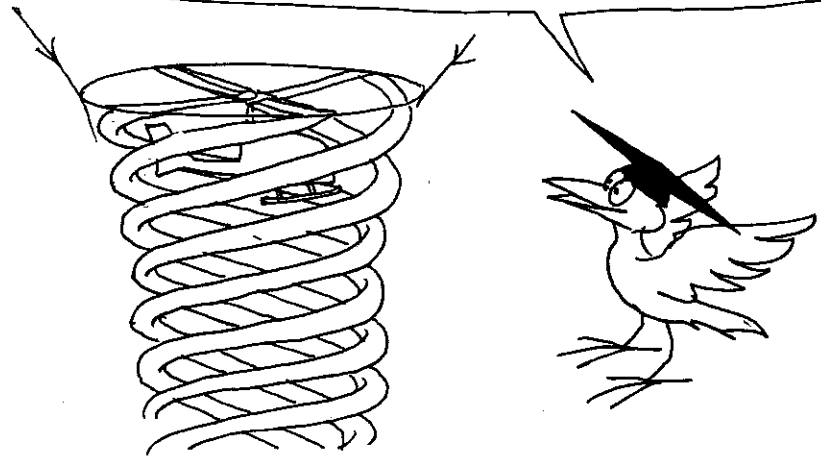
Tutto ciò che è VORTICOSO rappresenta una perdita di energia. Il volo traslato contrasta l'instaurazione del regime vorticoso. Questo modo di mantenersi ad altitudine costante risulta quindi meno dispendioso di energia.



Minor entità delle perdite legate ai vortici sull'estremità delle pale.

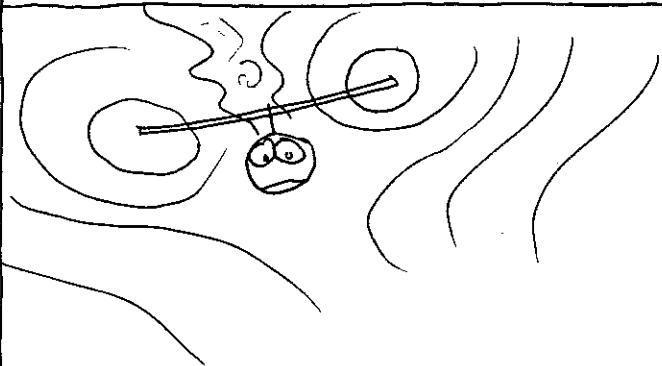


Quando l'elicottero inizia una discesa verticale, i vortici di estremità interagiscono al raggiungimento di una velocità verticale pari a $\frac{1}{4} V_i$.

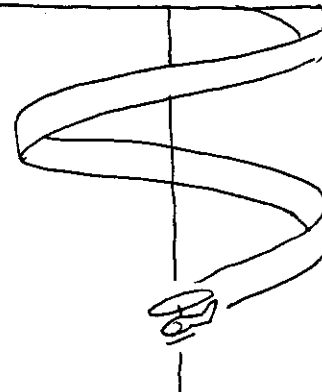


Quando la velocità di discesa raggiunge i tre quarti della velocità indotta V_i , i vortici di estremità si fondono facendo nascere un grosso **VORTICE** di forma toroidale.

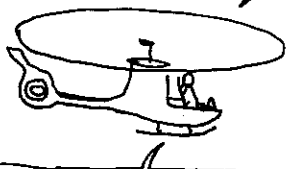
Ciascuna pala si riallaccia al vortice d'estremità della precedente e lo amplifica. Le perdite aumentano. Inoltre tale geometria aerodinamica è molto instabile.



Quindi per scendere rapidamente su di un sito di atterraggio, i piloti preferiscono adottare un approccio a spirale mantenendo un regime traslatorio.



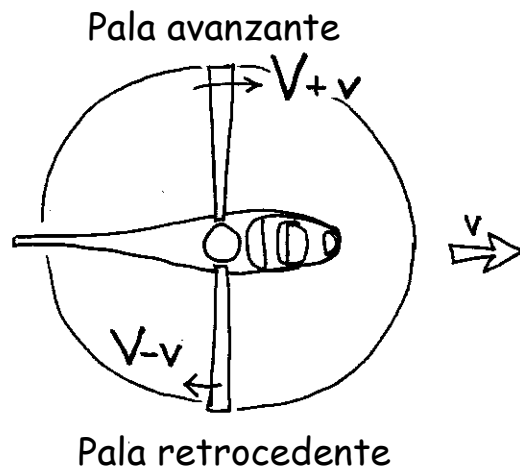
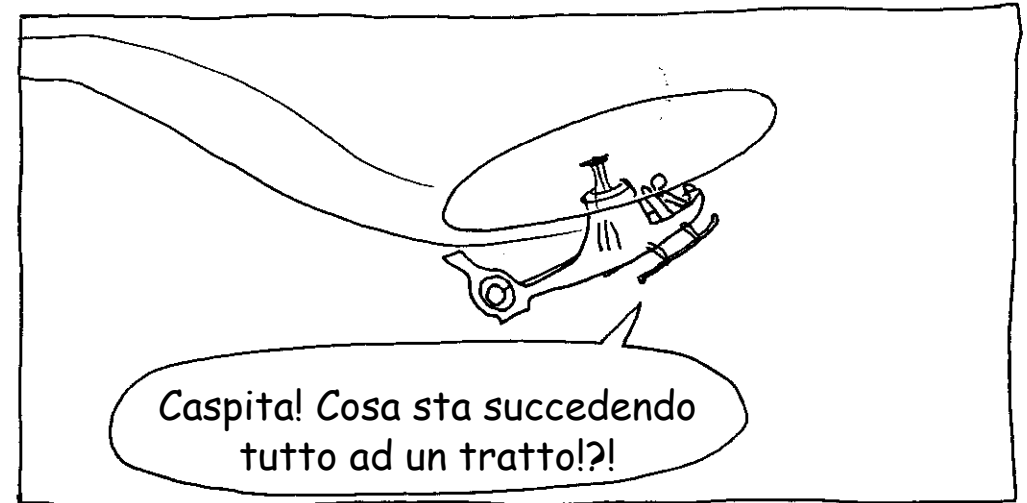
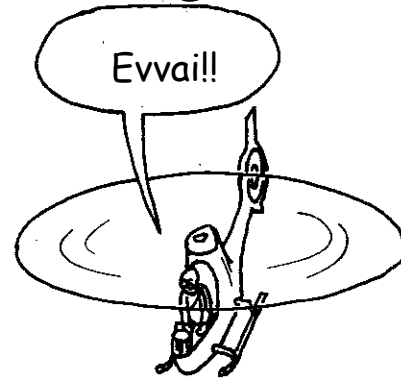
Morale della favola: mi avvicinerò alla cima della torre in volo orizzontale, quindi abatterò la velocità all'ultimo momento passando in volo stazionario e operando un'ultima discesa ad una moderata velocità verticale, diciamo un metro al secondo...



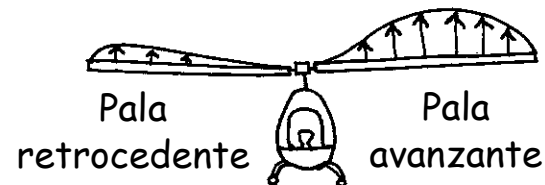
...per evitare questo pericoloso passaggio ad un **REGIME VORTICOSO**.

Ora riprendiamo le prove in volo.

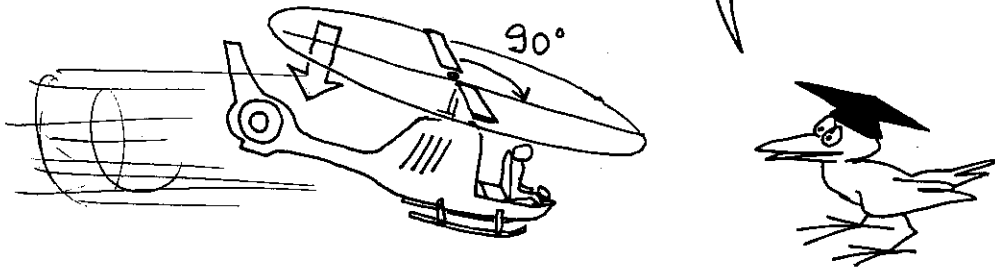
STALLO SU PALA RETROCEDENTE



Posto V = la velocità della pala alla sua estremità e v = la velocità di volo dell'elicottero, il **VENTO RELATIVO** a cui è sottoposta la **PALA AVANZANTE** è $V+v$. Quello a cui è sottoposta la **PALA RETROCEDENTE** è $V-v$. Le forze di pressione che si esercitano su entrambe le pale risultano quindi diverse.



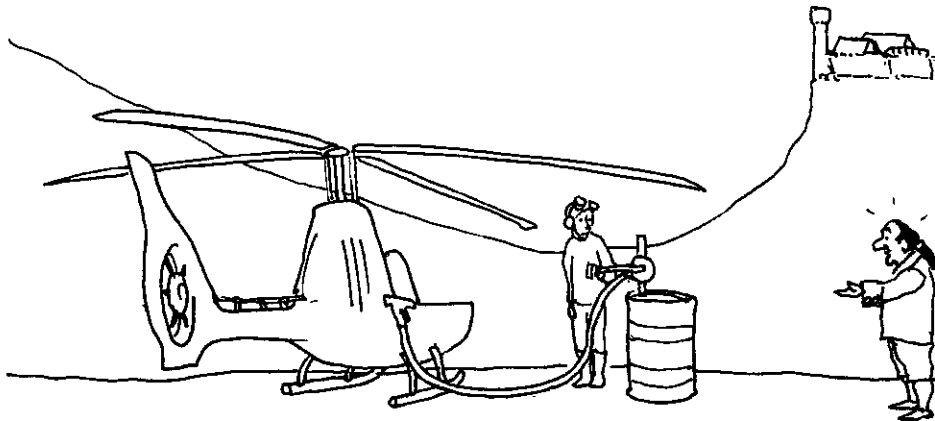
Si potrebbe pensare che ad elevata velocità l'elicottero abbia tendenza ad inclinarsi lateralmente. Tuttavia, a causa del ritardo di 90° della "risposta" del velivolo, questo tende a cabrare.



Il senso di rotazione dei rotori varia a seconda dei paesi. Ad esempio, per gli elicotteri italiani e americani la pala avanzante è a destra mentre è a sinistra su quelli francesi e russi. Ma ciò non cambia nulla di quanto detto fino ad ora.

La Direzione

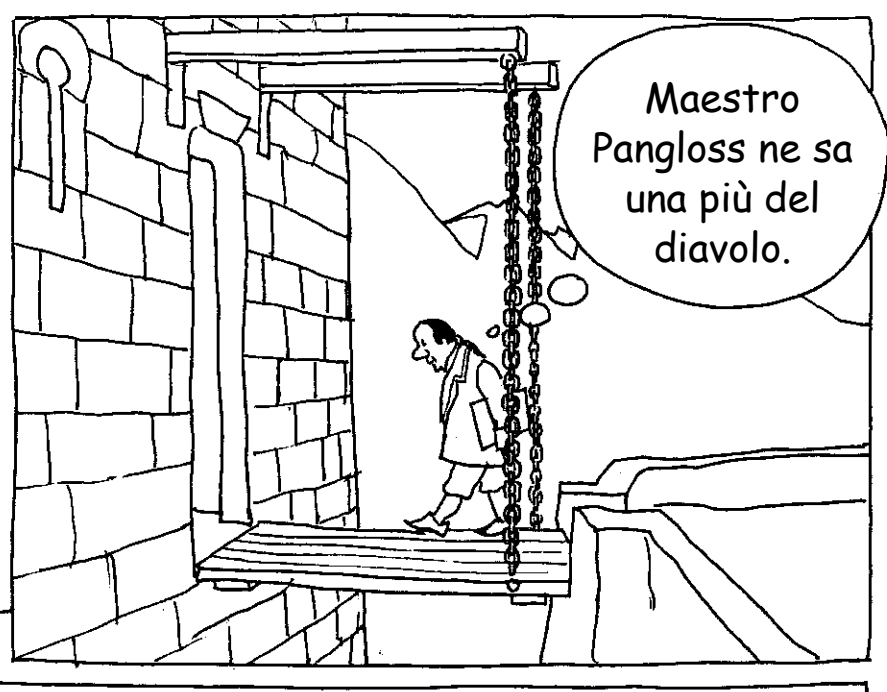
Candido, sto pensando ad una cosa. Il barone ignora tutto dei vostri progetti. Ma anche damigella Cunegonda. Cosa vi garantisce che si troverà sul terrazzo della torre quando giungerete lassù?





Avete ragione maestro Pangloss, ma cosa posso fare?

Devo pranzare questa sera al castello. Di sicuro troverò un modo per avvertirla.



Maestro Pangloss ne sa una più del diavolo.



Ah, maestro Pangloss, perché non ci raccontate una bella storia, ricca di filosofia, di cui la nostra figlia senza cervello potrebbe far tesoro?

Oh sì, maestro, tutti noi apprezziamo i suoi racconti filosofici.

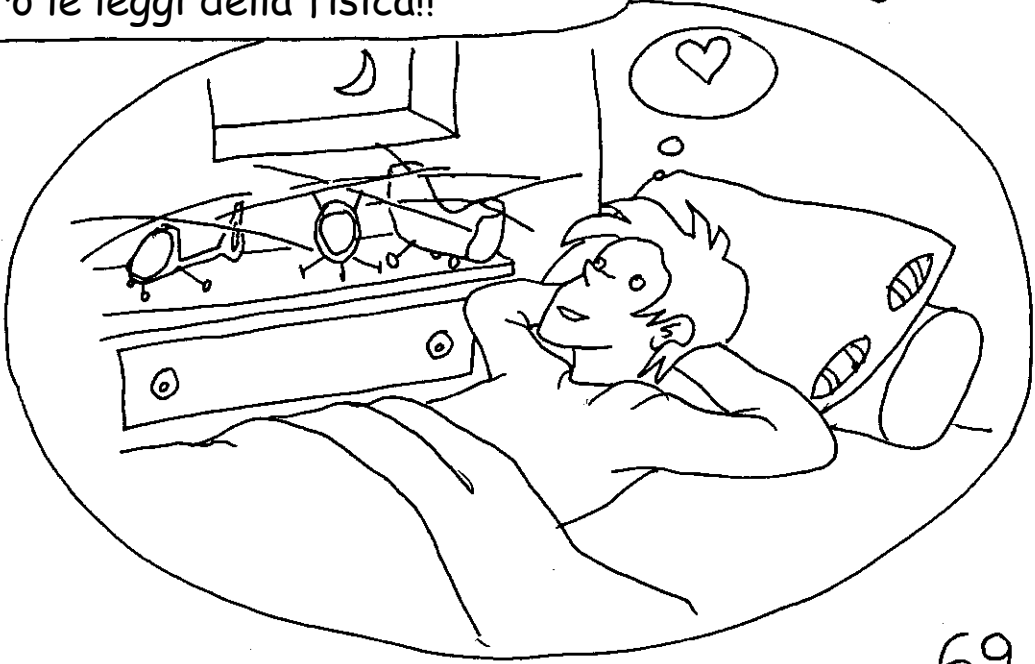
C'era una volta...

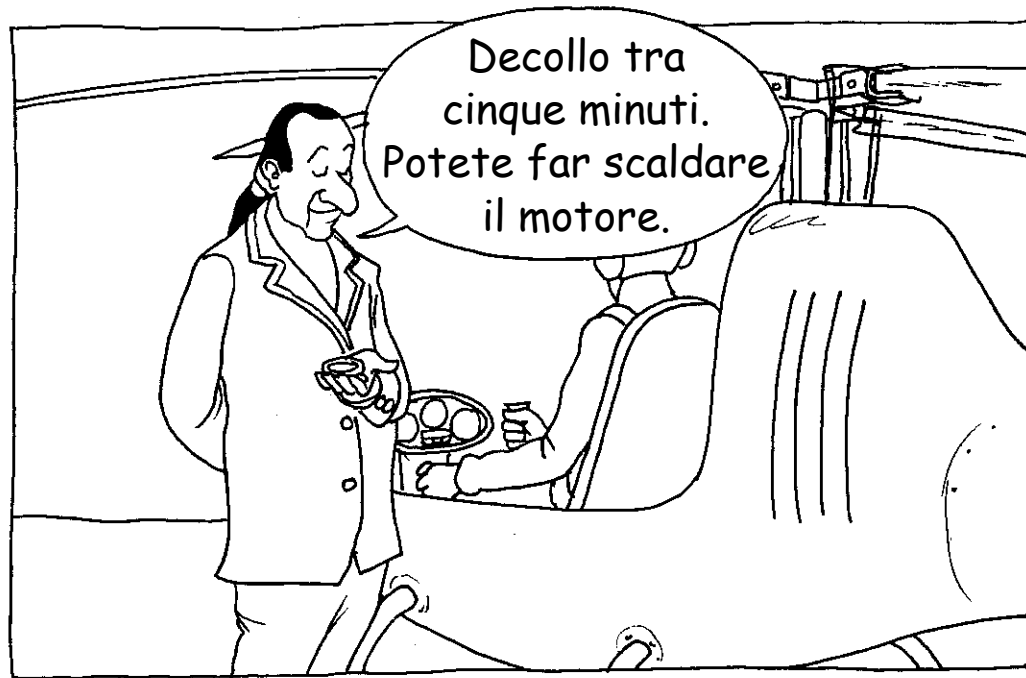




A volte Pangloss è proprio un sognatore.

Dei principi che arrivano su tappeti volanti! Ma è contro le leggi della fisica!!

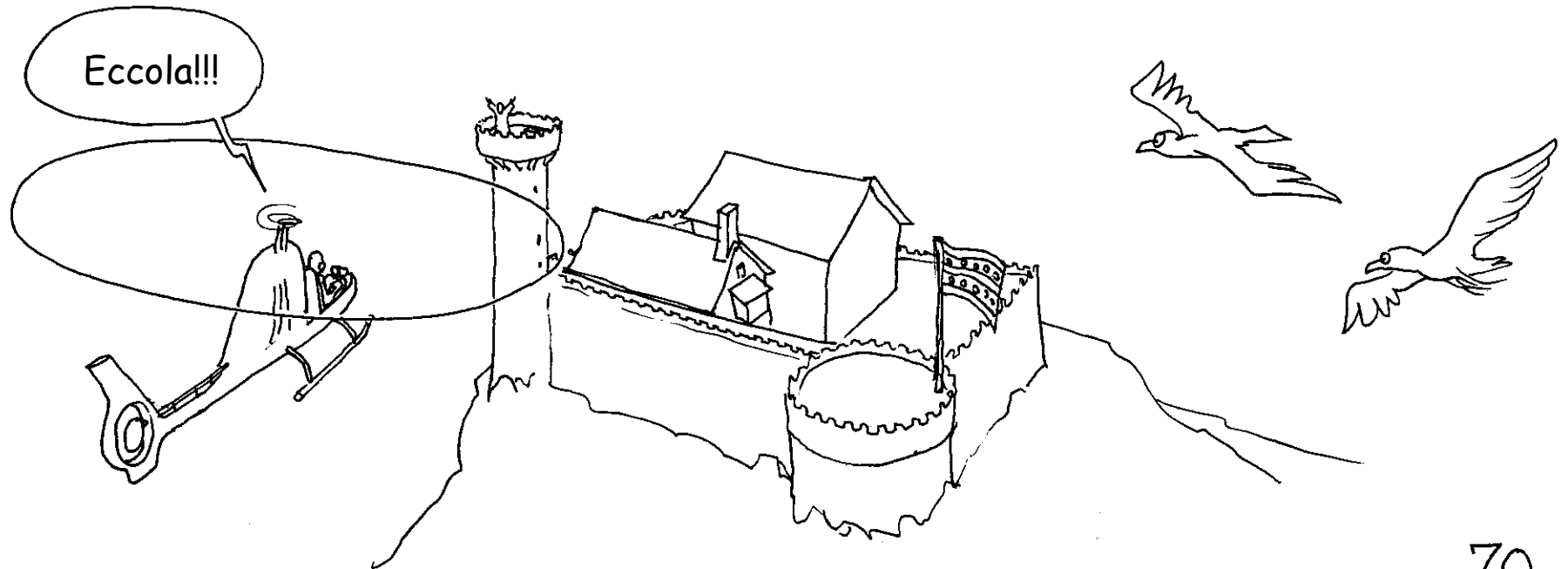




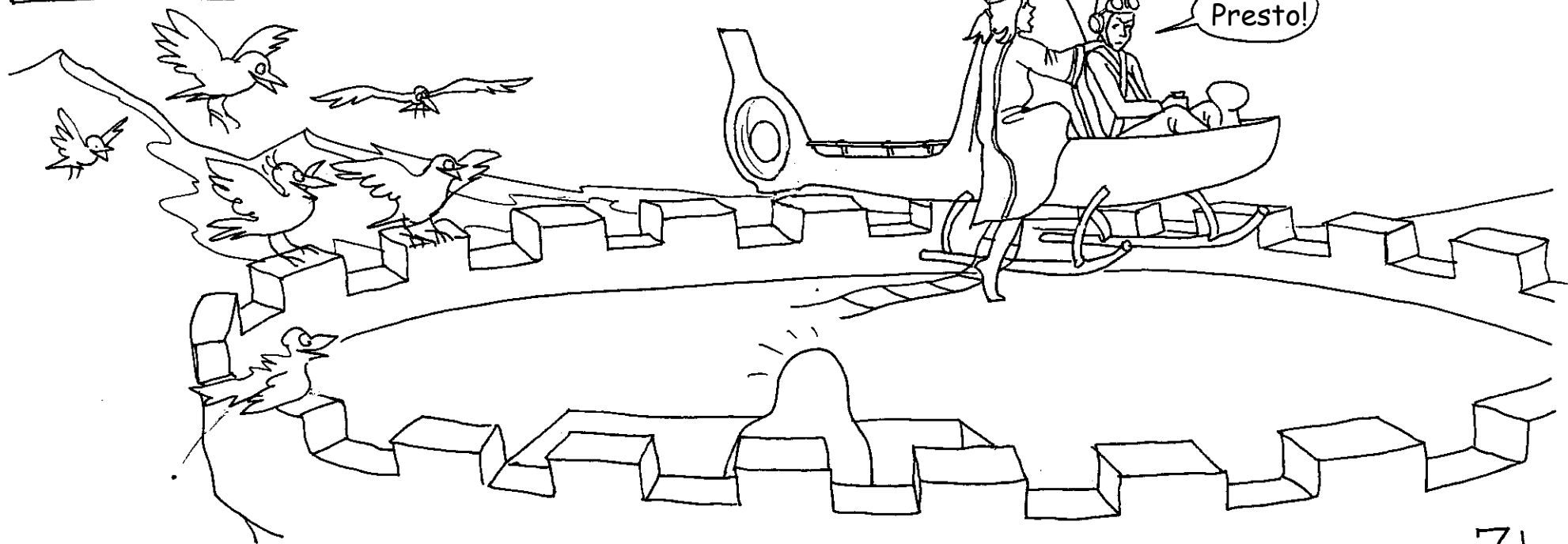
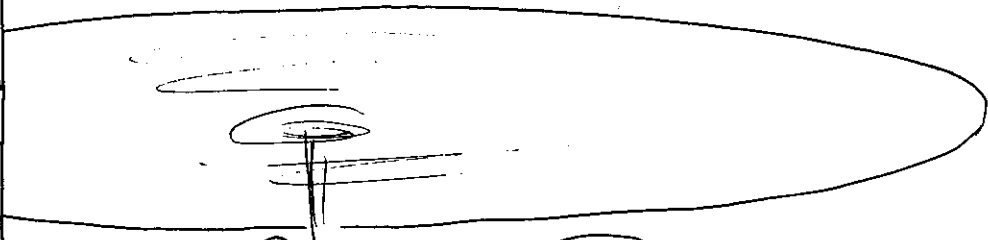
Decollo tra cinque minuti. Potete far scaldare il motore.

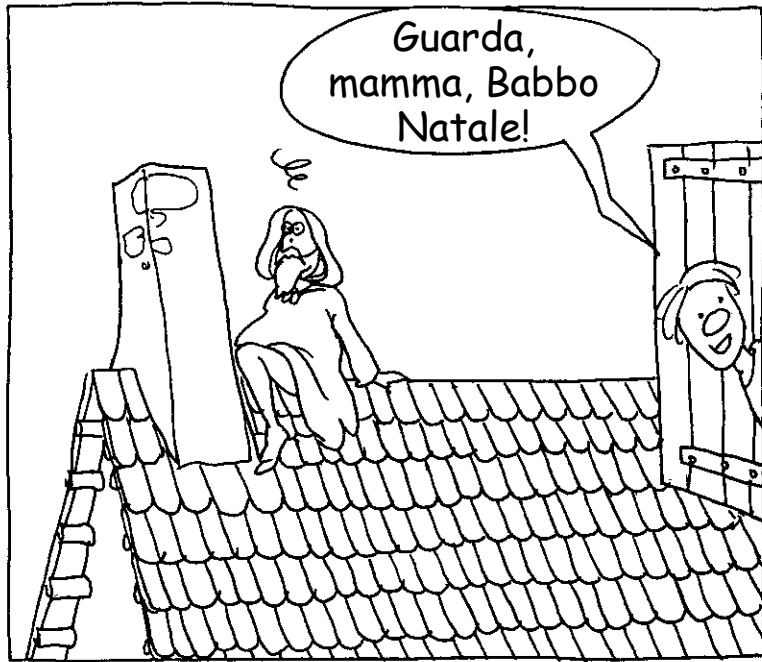
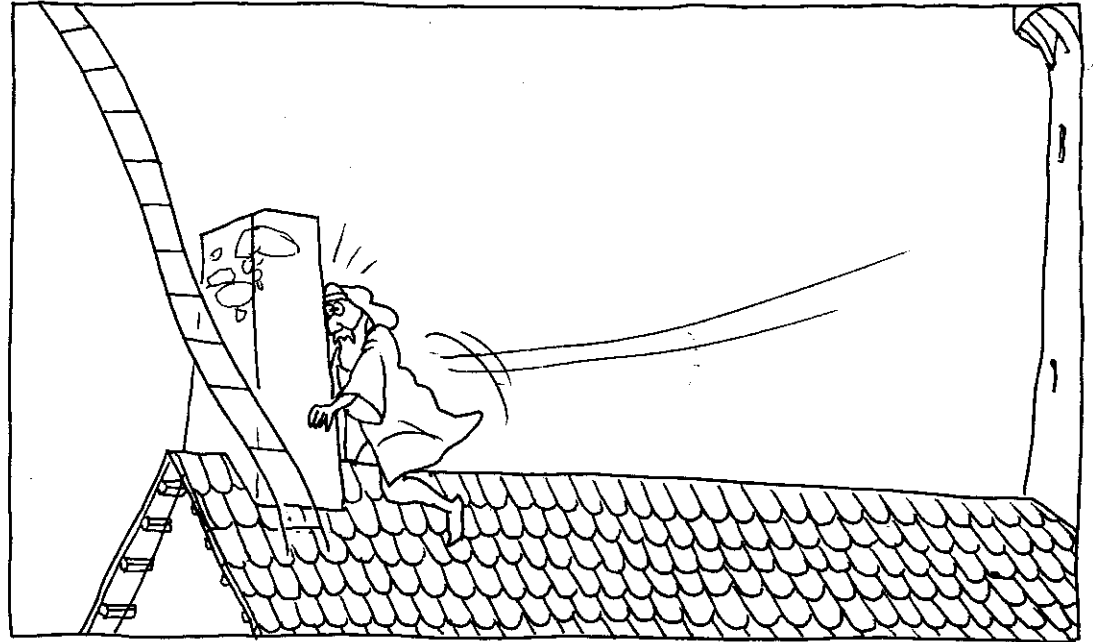
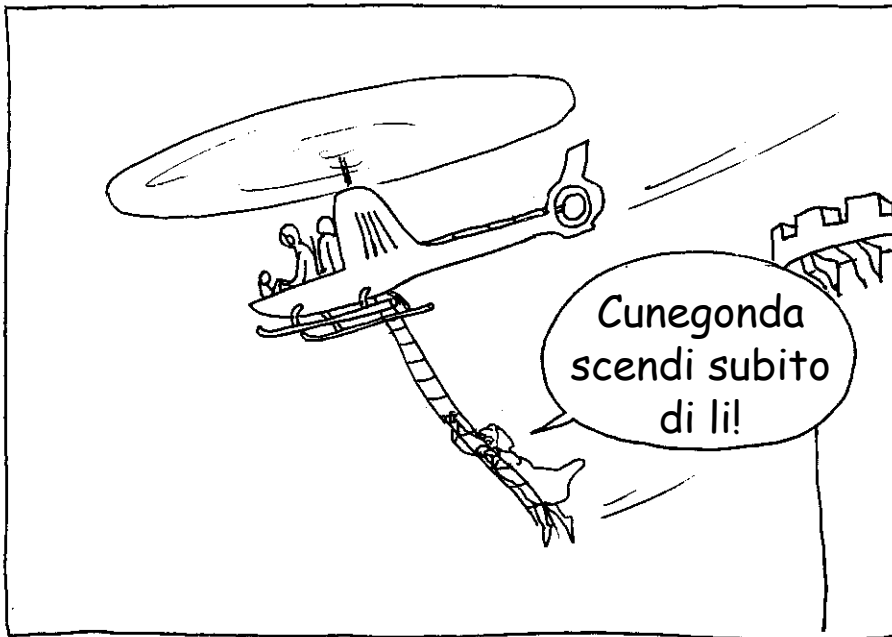


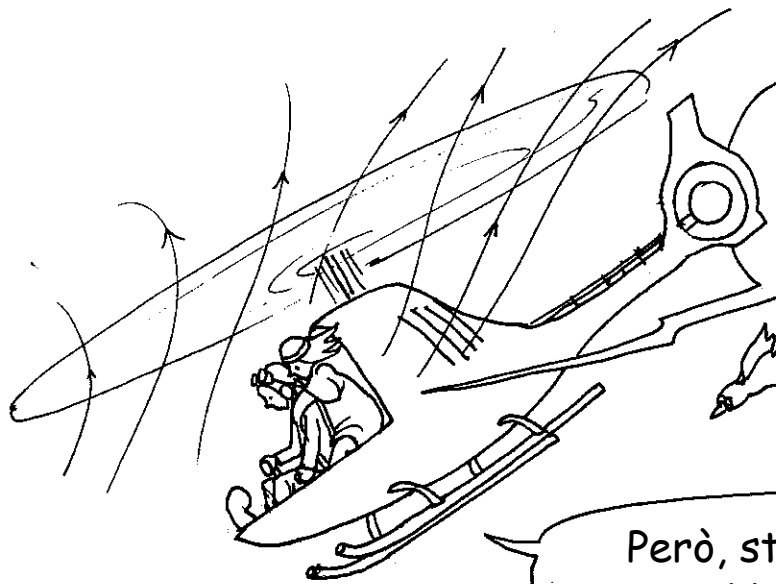
Pangloss ha detto mezzogiorno. Le campane iniziano a suonare, devo salire sul terrazzo.



Eccola!!!







Ci siamo, si è invertito il flusso dell'aria. Passa ora dal basso verso l'alto. Siamo entrati in regime di **AUTOROTAZIONE**. L'elicottero si è trasformato in autogiro. La parte motrice autorotante del rotore trascina il resto.

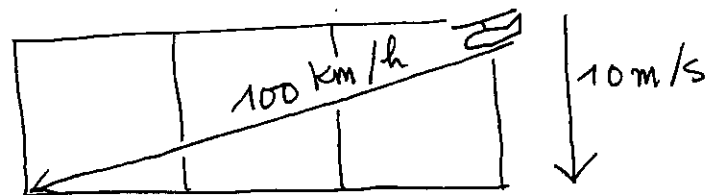
Quindi un elicottero può... planare?

Pare di sì.

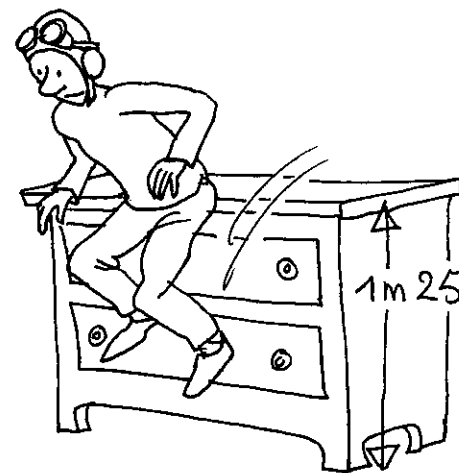
Però, stiamo scendendo piuttosto veloce: 10 m/s.
Non come una pietra ma ci manca poco!

In regime di autorotazione un elicottero ha una velocità di 100 km/h, il che corrisponde ad una **EFFICIENZA** di 3. In autorotazione verticale la velocità di caduta sarebbe di 20 m/s ed un impatto a questa velocità ucciderebbe i passeggeri. Tanto per capirci, un uomo può sopportare un impatto a 5 m/s, quello che si avrebbe saltando da un comò (*). Un impatto a 10 m/s corrisponde ad un salto da un'altezza di 5 metri.

La Direzione



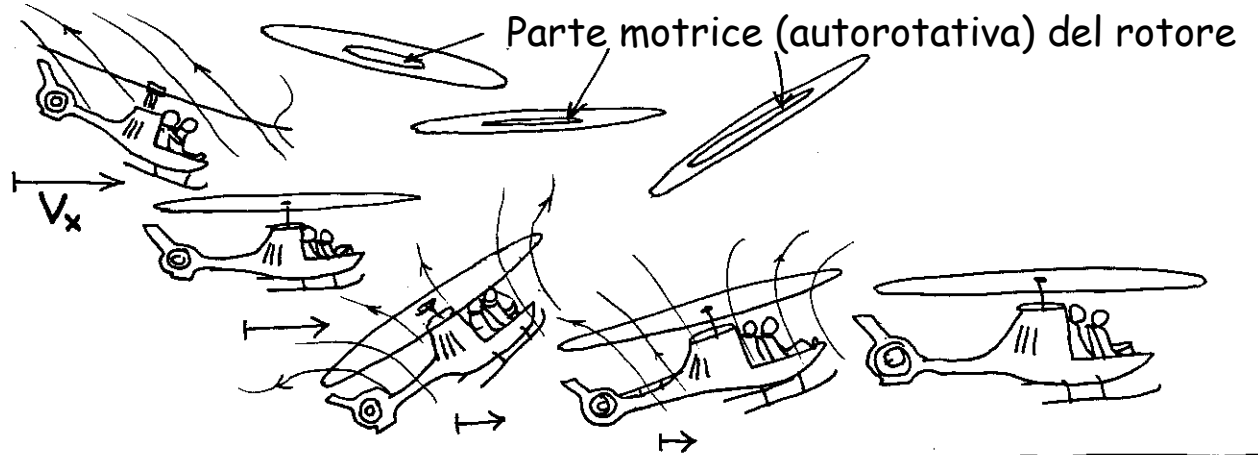
Impatto a 5 m/s



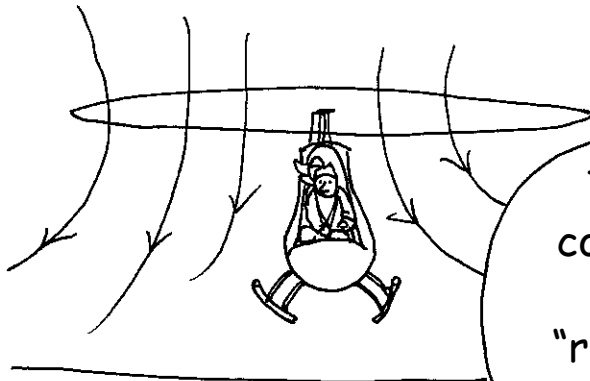
$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z} \text{ (metri)}$$

IL FLARE

Mi toccherà improvvisare una manovra all'ultimo istante.

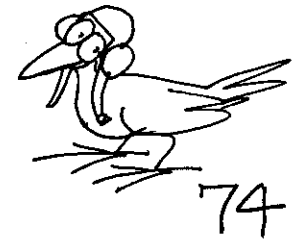


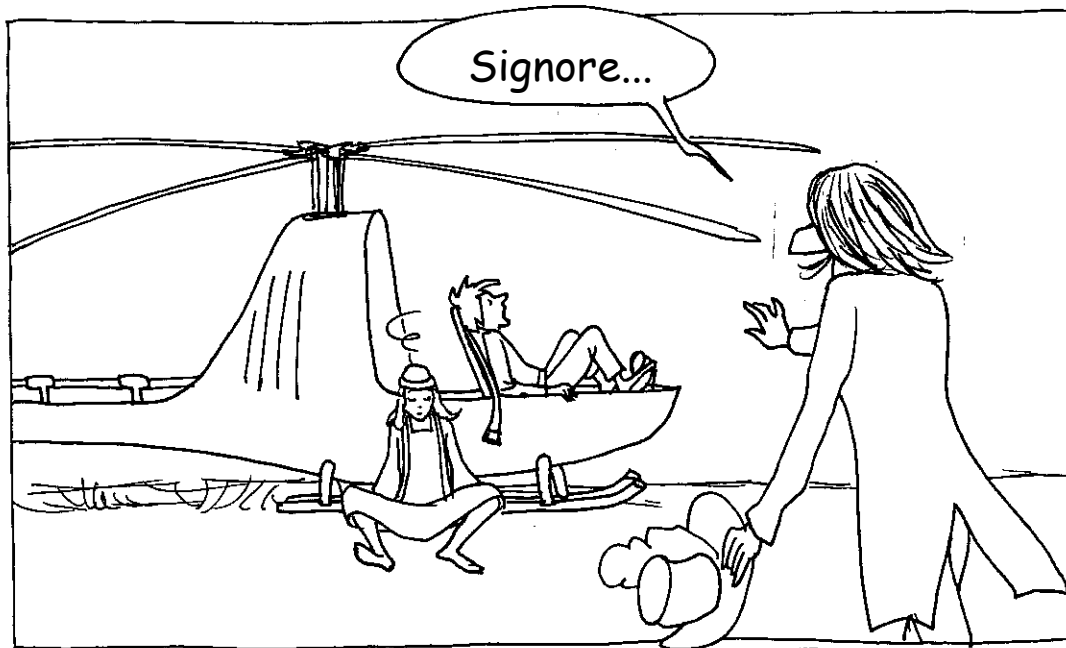
Ad un'altezza di dieci metri Candido tira decisamente la cloche mantenendo al minimo il passo collettivo. La macchina cabra e le pale vengono investite con una maggior incidenza di vento relativo, il che accresce la zona "motrice" autorotativa del rotore con conseguente conversione dell'energia cinetica di traslazione $\frac{1}{2} Mv_x^2$ in energia di rotazione. A questo punto spinge la cloche.



Tira successivamente la leva del passo collettivo. Il flusso dell'aria si inverte. Il rotore passa dal "regime autogiro" al "regime elicottero". Sfruttando l'effetto suolo utilizza l'energia cinetica immagazzinata dal rotore (*)

(*) È una manovra che fa consumare parecchia adrenalina.





Signore...



Sua maestà è stata molto colpita da questa impressionante dimostrazione a bordo del vostro sparviero volante.

Il mio che cosa?



Ah, eccoti qua miserabile, vile seduttore! Finirai i tuoi giorni nella prigione del castello.

Cos'è tutto questo baccano?



Oh sire, non vi avevo riconosciuto. Questo ragazzo vuole sposare mia figlia ma non ha il rango di nobiltà necessario per poterlo pretendere.

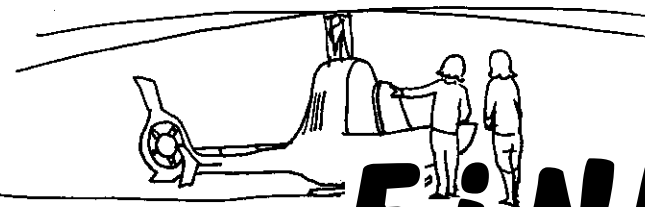
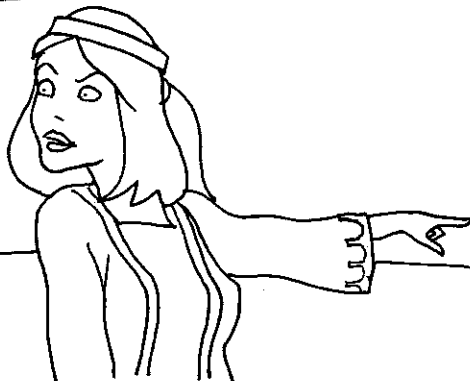
Che noioso questo barone. Per una volta che appare qualcosa di un po' divertente vuole mettere l'inventore dietro le sbarre. Ora sistemiamo tutto. Plissoneau, mi porga la spada, prego.



Un ginocchio a terra giovanotto. Sto per fare di voi il marchese di Elicoland. Sarete d'ora in poi ministro dei miei trasporti d'ogni sorta.

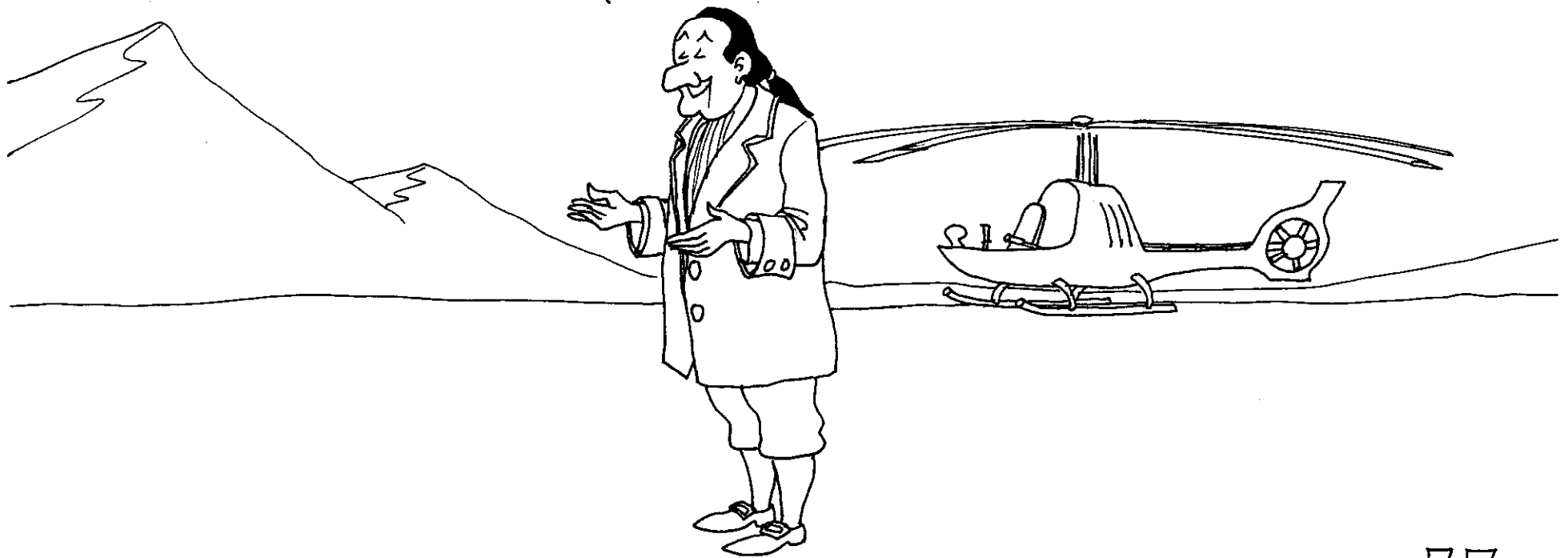


E marchese è molto meglio di barone. Quindi adesso papà vediamo di non stressare più.



FINE

In fin dei conti, caro Candido, va tutto per il meglio nel miglior dei mondi possibili.
Se il signor barone non vi avesse cacciato fuori dal castello a pedate nel sedere, mai
avreste inventato l'elicottero.



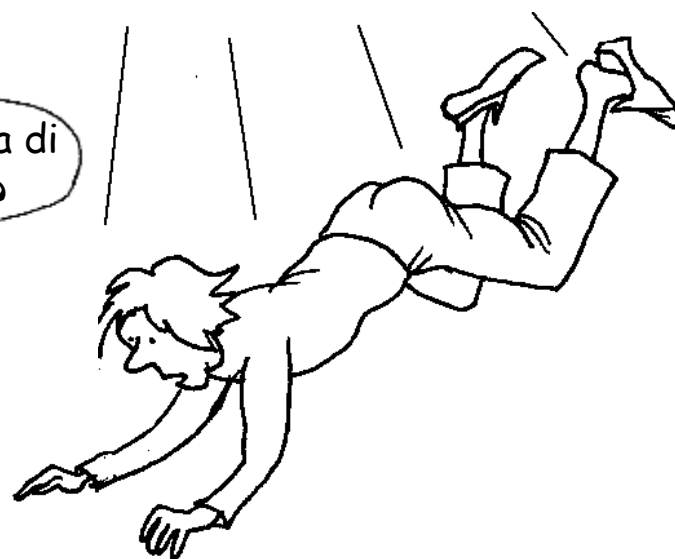
L'AUTOROTAZIONE DI MADRE NATURA



Da tempo immemorabile, gli aceri (e non solo quelli) sanno produrre velivoli ultraleggeri autorotanti per di più monopala. Sfruttando ciò che l'uomo scoprì solo pochi decenni fa, i loro frutti (samare) cascano ruotando velocemente per rallentare la caduta e farsi portare dal vento.



Qualche problema di autorotazione?



Vincendo numerosi venti contrari, Paola Brunero, Giusy Scarcella e Davide Frua hanno reso possibile l'atterraggio di Candido nel Bel Paese.

La Direzione ringrazia.