

Dipartimento di Progettazione dell'Architettura dell'Università di Firenze A.E.D. Associazione europea per il Disegno

# Il disegno luogo della memoria



Atti del convegno  
21/22/23 settembre 1995  
Firenze, Italia  
Pre-print dei contributi

**A** ALINEA  
EDITRICE

## IL RILEVAMENTO AUTOMATICO LFE LASERFOTOELETTRONICO

Il teorema fondamentale della scienza della rappresentazione, assicura che *"per configurare un sistema di rappresentazione nello spazio è necessario e sufficiente fissare un piano e tre distinti centri di proiezione, esterni a tale piano e non appartenenti alla stessa retta"*.

Per individuare un qualsiasi punto P dello spazio rispetto ad un piano di riferimento  $\pi$  occorrono, è ben noto, tre variabili indipendenti (1). Siano ora fissati rispetto a  $\pi$  due punti qualsiasi C1 e C2 distinti ed esterni a tale piano (fig.1) e siano essi assunti come centri di proiezione (2).

Un punto P dello spazio è individuato generalmente quando se ne conoscano le proiezioni P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> rispettivamente ottenute su  $\pi$  da C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>, poiché le proiettanti p<sub>1</sub> e p<sub>2</sub> per P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> s'intersecano necessariamente in P.

Tuttavia gli infiniti punti della retta k<sub>12</sub> appartenente ai due centri vengono proiettati da questi nella traccia K<sub>12</sub>, propria o impropria, della k<sub>12</sub> su  $\pi$ , definita *nucleo*, e dunque tali punti non sono individuabili, per la coincidenza delle proiettanti p<sub>1</sub> e p<sub>2</sub>.

E' necessario allora fissare un terzo centro di proiezione C<sub>3</sub>, esterno alla k<sub>12</sub>, in modo da ottenere una terza proiezione P<sub>3</sub> su  $\pi$  ed una terza proiettante p<sub>3</sub>, che essendo comunque distinta, dalla K<sub>12</sub>, ne permetta sempre l'individuazione dei punti (fig.2).

Dunque le proiezioni P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> su  $\pi$  sono necessarie per individuare la posizione di qualsiasi punto P dello spazio rispetto a  $\pi$ , ma esse sono anche sufficienti perché costituiscono per ciascun punto, da riferire a  $\pi$ , tre variabili indipendenti.

Immaginiamo adesso di riferirci al piano  $\pi_c$  per C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e di sostituire alle tre variabili indipendenti costituite dalle tre proiezioni P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, che individuano il punto P, altre tre variabili altrettanto indipendenti, ma slegate dal piano  $\pi$ . Siano esse costituite dai tre angoli  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  che individuano mediante le proiettanti p<sub>1</sub> p<sub>2</sub> p<sub>3</sub> la posizione di P rispetto al piano  $\pi_c$  (fig.3).

In particolare  $\alpha_1$  ed  $\alpha_2$  appartengono al piano individuato da  $p_1$  e  $p_2$ , mentre  $\alpha_3$  appartiene al piano individuato da  $p_1$  e  $p_3$  ( ma si poteva scegliere il piano per  $p_2$  e  $p_3$ ).

Questo sistema dunque permette, fissata la base  $C_1, C_2, C_3$ , di individuare qualsiasi punto dello spazio, perché a ciascun punto P corrisponde sempre una ed una sola terna distinta di angoli  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ .

Su questo schema geometrico è possibile progettare, come si illustrerà, un sistema applicativo di rilevamento automatico mediante l'uso di un fascio di luce laser e due cellule fotoelettriche (fototransistori).

I laser, o maser ottici, sono, come è noto, strumenti per la generazione di onde elettromagnetiche a frequenza ottica, o immediatamente vicina (ultravioletto, infrarosso), che si generano dall'interazione fra sistemi atomici ed un campo di radiazione.

La radiazione elettromagnetica applicata crea un'emissione indotta, cioè stimolata, di fotoni di energia, accompagnata dal decadimento dell'atomo da un livello superiore 2 ad uno inferiore 1. Per ottenere ciò occorre effettuare il cosiddetto "*pompaggio*", cioè un'eccitazione degli atomi sino al livello 3 superiore al 2 per far sì che col decadimento dal 3 al 2 si abbia un aumento della popolazione di elettroni al livello 2, aumento necessario affinché il numero di atomi  $n_2$  al livello 2 prevalga sul numero  $n_1$  di quelli al livello 1.

I vari tipi di laser possono essere distinti in base al materiale attivo ed al tipo di pompaggio impiegato. Si hanno allora i laser a stato solido (pompaggio ottico), i laser a stato liquido (pompaggio ottico), quelli a stato gassoso (pompaggio per scarica elettrica) ed infine i laser a semiconduttore (pompaggio per iniezione di cariche).

In quest' ultimo tipo di laser il materiale attivo è un semiconduttore di tipo analogo a quelli usati nella realizzazione dei diodi e dei transistori.

Il laser consiste in una giunzione fra materiali p ed n, ove p sta ad indicare che tale materiale contiene "*buche*" di elettroni, considerate cariche positive p, mentre l'altro materiale contiene elettroni portatori di cariche negative n. Tale giunzione p-n viene polarizzata in maniera diretta e fatta percorrere da una corrente dell'ordine dei 100 A. Viene cioè effettuato il pompaggio iniettando direttamente cariche al livello superiore della transizione laser.

Le proprietà del laser, è bene precisarlo, sono la coerenza spaziale, cioè la perfetta direzionalità del fascio; la coerenza temporale, cioè la perfetta monocromaticità del fascio; la grande intensità ed il campo di frequenza di lavoro.

Le cellule *fotoelettriche* sono, come si ricorderà, dispositivi creati con materiali particolarmente sensibili alle radiazioni elettromagnetiche che su di essi provocano una notevole variazione delle caratteristiche elettriche. Tali cellule, per l'elevata sensibilità di cui sono dotate, vengono sfruttate per rivelare o misurare o convertire in segnali elettrici le radiazioni incidenti.

In particolare le cellule *fotoconduttrici* ( o *fotoresistive* ) offrono resistenza elettrica notevolmente variabile con l'intensità e la lunghezza d'onda della radiazione incidente (sono sensibili soprattutto alle radiazioni infrarosse) e sono caratterizzate da un breve tempo di risposta. Le proprietà di conduttività dei materiali adoperati (solfuri, seleniti, cadmio, antimonio, selenio etc.) vengono fortemente migliorate con la "*drogatura*", cioè con la introduzione di impurezze in quantità controllata.

Le *cellule fotovoltaiche*, invece, per effetto della radiazione elettromagnetica, cioè della radiazione luminosa, generano forza elettromotrice.

Esistono diversi tipi di tali cellule, che reagiscono alle frequenze fra l'infrarosso e l'ultravioletto, cioè a tutto lo spettro del visibile.

La cellula fotovoltaica è costituita da una giunzione n-p tra due diversi semiconduttori ( ad esempio silicio-borato di silicio, rame-ossido di rame): in vicinanza di tale giunzione la radiazione elettromagnetica che colpisce la cellula provoca il rilascio nei semiconduttori di elettroni e buche mobili.

Si crea quindi un campo elettrico fra i due semiconduttori nel quale le cariche rilasciate si pongono in movimento, tanto da generare una corrente in un circuito esterno chiuso ad essi collegato.

In particolare i fototransistor sono elementi fotovoltaici in cui il contenitore focalizza la luce sopra la giunzione dei semiconduttori, che sono polarizzati con tensione inversa, in modo che al buio la corrente che li percorre sia molto piccola.

Per effetto della luce si ha invece circolazione di una corrente proporzionale alla intensità della luce stessa incidente. Tale corrente primaria viene amplificata internamente al transistor, aumentando notevolmente la sensibilità alla radiazione luminosa che lo colpisce.

Il fototransistor, fornito di un terzo elettrodo, denominate *base*, può essere utilizzato come interruttore.

Riprendiamo lo schema illustrato in figura tre: il triangolo  $C_1, C_2, C_3$  isoscele e rettangolo in  $C_1$ , si assume come base dell'apparecchio di rilevamento.

Poniamo in corrispondenza al centro  $C_1$  la sorgente di luce laser, in modo che l'asse  $p_1$  del fascio di luce appartenga a tale centro e possa ruotare liberamente intorno ad esso, mantenendosi sul piano ortogonale alla base per  $C_2$ .

Poniamo poi in corrispondenza ai centri  $C_2$  e  $C_3$  due celle fotoelettriche, si supponga dei fototransistori forniti di base (ma potrebbero adoperarsi gli altri tipi di celle, cui si è accennato, collegandole con un relè), in modo che l'asse di ciascun apparecchio passi per il rispettivo centro e possa ruotare il primo mantenendosi sul piano per  $C_2$  e  $p_1$ , il secondo mantenendosi sul piano per  $C_3$  e  $p_1$ .

Dunque possiamo qualificare la stazione  $C_1$  (il laser) come un apparecchio (a giunzione di semiconduttori) che riceve corrente elettrica ed emette onde elettromagnetiche; viceversa la stazione  $C_2$  (o  $C_3$ ) come un

apparecchio (sempre a giunzione di semiconduttori) che riceve onde elettromagnetiche ed emette corrente elettrica.

Si affidi adesso ad un elaboratore elettronico, senza trattare dei relativi algoritmi, il funzionamento programmato delle tre stazioni e le successive fasi di restituzione e rappresentazione. Riferendosi ad uno dei due semispazi individuati dal piano  $C_1, C_2, C_3$  si muove il raggio laser  $p_1$ , di opportuna frequenza  $f_l$  ed intensità  $i_l$ , possibilmente IF (nell'infrarosso), in modo da esplorare tutto il semispazio prescelto secondo un numero più o meno elevato di posizioni distinte assunte in sequenza secondo un ordine prefissato (fig.4).

Per operare in tal modo la base  $C_1, C_2, C_3$  ruota, ad esempio in senso antiorario, intorno al centro  $C_1$ , sul piano cui appartiene, dell'angolo  $\gamma$ , variabile tra  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , secondo l'incremento costante  $\Delta\gamma$  libero ma prefissato. Il raggio laser ruota inoltre, ad esempio in senso orario, intorno al centro  $C_1$ , come si è accennato, sul piano ortogonale alla base  $C_1, C_2, C_3$  per  $C_1$ , e  $C_2$ , dell'angolo  $\delta_1$ , variabile da  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , secondo l'incremento  $\Delta\delta_1$  che si può assumere coincidente con  $\Delta\gamma$ .

Siano dunque assunti due valori generici di  $\gamma$  e  $\delta_1$ , sia cioè  $p_1$  appartenente a  $C_1$  ed al generico punto P, che in realtà coincide necessariamente con l'areola illuminata dal fascio laser, areola appartenente ad una data superficie S da rilevare.

In tali condizioni (fig.4), i due assi  $p_2, p_3$  degli apparecchi  $C_2$  e  $C_3$  sono posti in rotazione in senso antiorario, partendo dalla posizione in cui  $p_2$  coincide con  $C_1, C_2$  e  $p_3$  con  $C_1, C_3$  in modo da non intercettare il raggio laser  $p_1$ .

Quando uno dei due assi, ad esempio  $p_2$ , appartiene al punto P, il relativo fototransistor, sensibile alla frequenza  $f_l$  ed alla intensità  $i_l$  del laser, riceve istantaneamente un impulso di tale luce reagendo da interruttore e bloccando l'apparecchio  $C_2$  e quindi l'asse  $p_2$  in tale posizione, cui corrisponde l'angolo  $\delta_2$ , coperto nella rotazione, dall'asse  $P_2$ .

Lo stesso procedimento può ripetersi per l'asse  $p_3$ , cui corrisponde  $\delta_3$  in modo da non escludere l'esplorazione del piano  $C_1, C_2, C_3$  ed inoltre avere un doppio riscontro della posizione di ciascun punto.

L'elaboratore elettronico è dunque in grado di ricavare e memorizzare le coordinate angolari del punto P della S e procedere al rilevamento di un nuovo punto della superficie.

Per ridurre i tempi operativi, l'asse  $p_2$ , prima di tornare a ruotare in senso antiorario, viene disposto sempre in posizione parallela alla corrispondente posizione dell'asse  $p_1$ .

La velocità del rilevamento, che evidentemente può essere effettuato anche nella completa oscurità, dipende esclusivamente dalla velocità operativa dell'apparecchiatura elettronica, che comunque può ritenersi grazie all'attuale livello tecnologico, senz'altro elevata.

Il tempo impiegato in un rilevamento dipende naturalmente soprattutto dall'estensione della superficie (in generale si tratta di più superfici) e quindi dal numero di punti da rilevare in funzione della minore o maggiore definizione

di dettaglio, cioè dalla scelta del valore di  $\Delta\gamma$ , che in definitiva risulta l'unico parametro che deve scegliere opportunamente l'utente.

I dati, automaticamente rilevati ed immagazzinati, vengono quindi automaticamente adoperati per una rappresentazione a fil di ferro, e poi ombreggiata, della superficie esplorata, secondo i metodi della moderna scienza della rappresentazione dello spazio ed i programmi di CAD più avanzati, in base alle richieste dell'utente, il tutto eseguito da un unico apparecchio completamente automatico.

Le condizioni di luce diffusa bassa, o del tutto assente, in cui può essere effettuato ottimamente il rilevamento, consentono di usare agevolmente la macchina per interni ed esterni.

Naturalmente la posizione dell'apparecchio rispetto alla superficie da rilevare, insieme al valore di  $\Delta\gamma$ , permette di ottenere immagini generali o di dettaglio e dunque sta all'utente scegliere le posizioni più opportune per ottenere un rilevamento esauriente ed esaustivo del corpo manufatto o naturale da rilevare.

Le scelte tecniche finali e i dettagli costruttivi potranno naturalmente essere noti soltanto passando alla fase costruttiva e sperimentale della apparecchiatura.

*G. M. C.*

#### Note

1 - Ad esempio le tre coordinate polari di P rispetto al piano polare  $\pi$ .

2 -Nelle rappresentazioni in proiezione parallela di fig. 1 e fig. 2 sono indicate in tratto-punto le proiettanti i tre centri  $C_1, C_2, C_3$  ortogonalmente a  $\pi$  e nelle tracce di queste su  $\pi$  le relative proiezioni di essi.

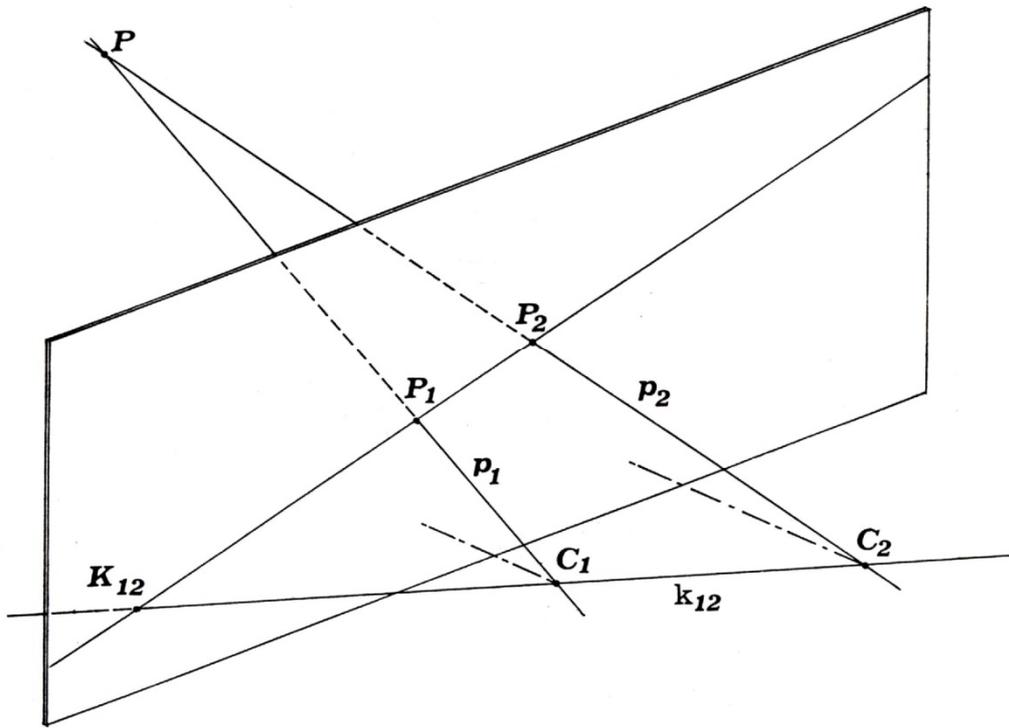


Fig.1

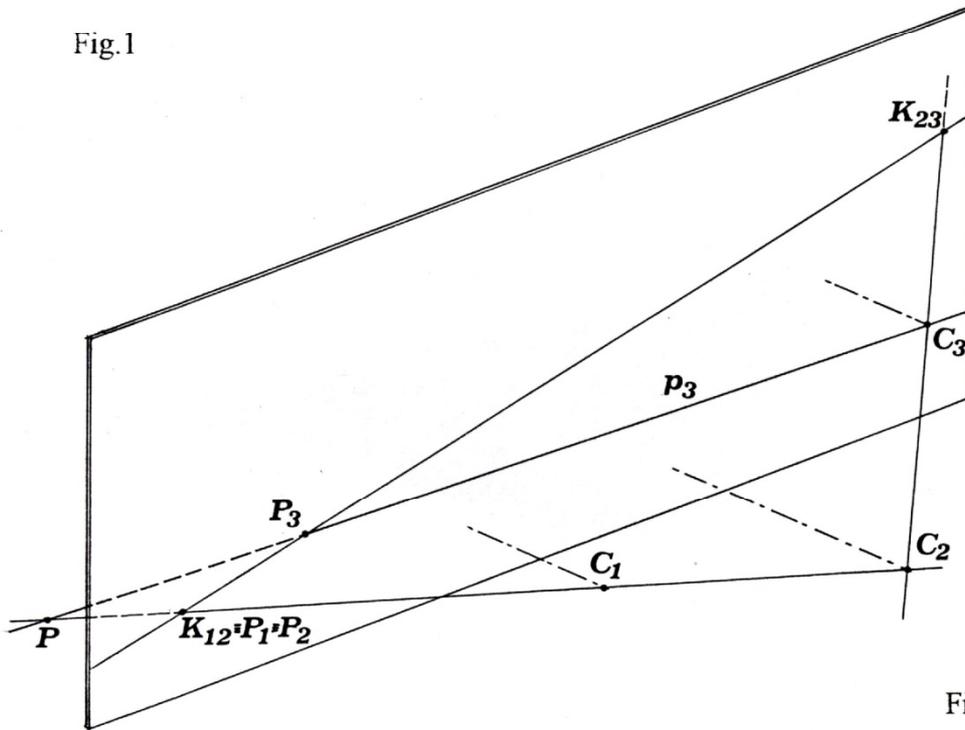


Fig.2

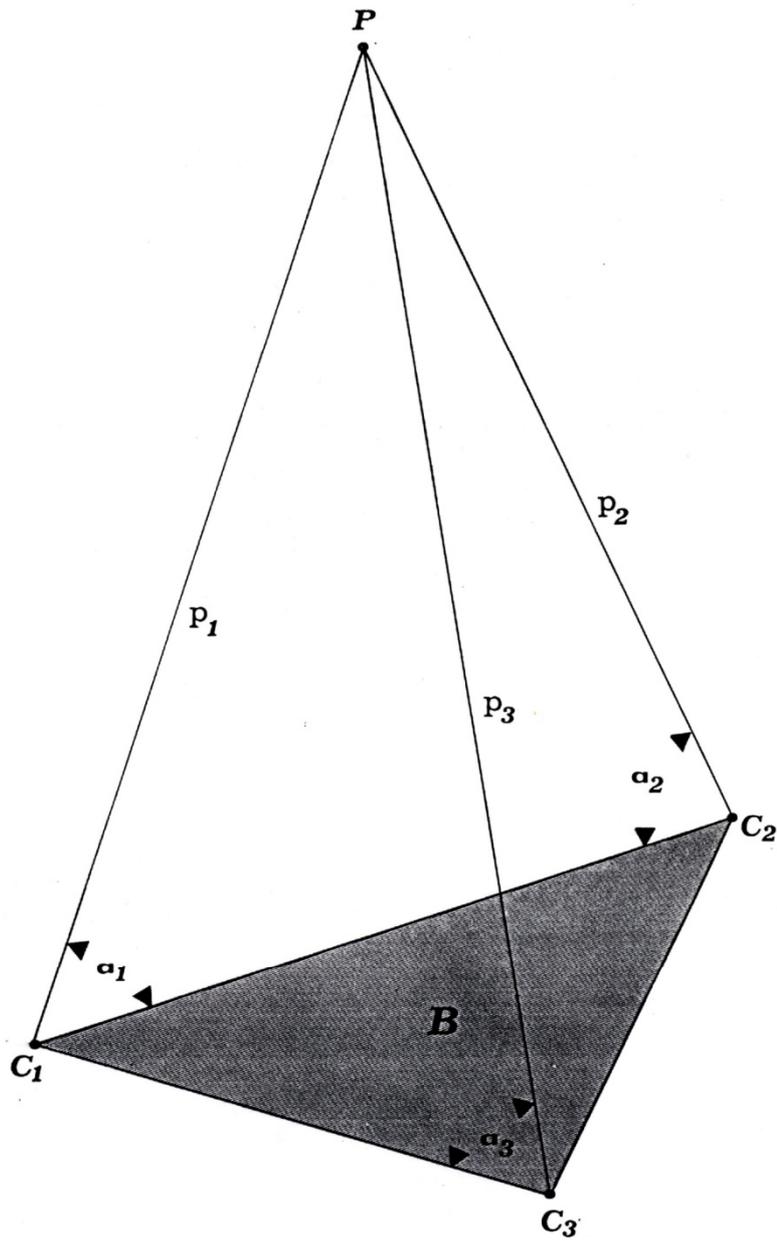


Fig.3

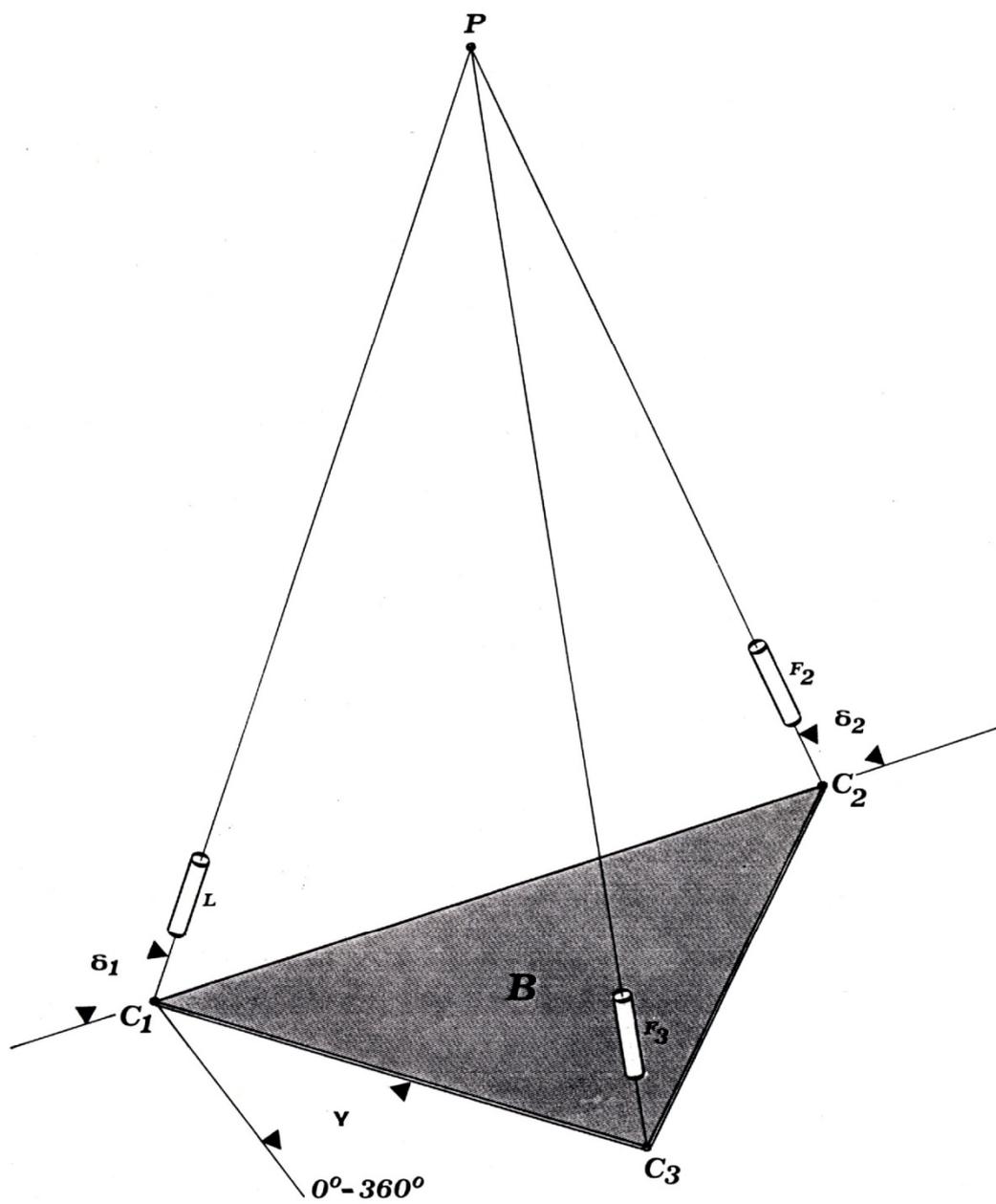


Fig.4