



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1495A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Bertone

MATERIA: Geomatica + Eserc. Prof. Manzano

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

GEOMATICA

Per uso autonomo, di progetto satellitare, di uso di navigazione inerte, insieme un sistema di riferimento INERZIALE

Per scopi di posizionamento terrestre ci è sufficiente un sistema di riferimento solido alla Terra (cioè che non vede la rotazione della terra) ECEF - Earth Centred Earth Fixed.

Il sistema ECEF risulta essere più comodo di quello inerziale. Inoltre i sistemi di riferimento dipendono dal periodo di misura (GRS67, GRS80, WGS84, PZ90...) e migliorano in precisione con tecniche più moderne.

1. SISTEMA DI POSIZIONAMENTO GPS

Basato sulla ricezione di segnali radio emessi da una costellazione di satelliti artificiali in orbita attorno alla terra, la denominazione del sistema è "NAVSTAR GPS".

Il sistema è stato progettato in maniera da permettere in ogni istante e in ogni luogo del nostro pianeta il posizionamento tridimensionale di oggetti, anche in movimento.

Il sistema è costituito da 3 parti o "segmenti":

- Segmento SPAZIALE → COSTELLAZIONE SATELLITARE: costituita da 24 satelliti (ora 31) in orbita pressoché circolare intorno alla Terra ad altezza di circa 20.200 km (3 volte il raggio terrestre, alti e non geostazionari), il loro periodo orbitale è di 12 ore ridotti orono ogni 24 ore possono due volte sull'orizzonte.

La costellazione permette la visibilità di almeno 4 satelliti in qualunque luogo e ora e partire da un'elezione di 15° sull'orizzonte, questo è uno dei requisiti base per il posizionamento. Ogni satellite porta a bordo orologi atomici (Cesio e Rubidio) per garantire costante e stabile riferimento temporale.

Funzioni dei satelliti:

- Trasmettere informazioni agli utilizzatori mediante segnale radio completo
 - Mantenere riferimento di tempo accurato grazie ad orologi di bordo
 - Ricevere e memorizzare informazioni dal segmento di controllo
 - Seguire manovre e conversioni d'orbita più o meno regolari di carburante
- ↳ satelliti sono stati lanciati in varie epoche e appartengono a diversi blocchi (hanno vita media prevista di 7 anni): blocco I, II, IIA, IIR, IIF.

ricevitore, misurato a partire da codici che modulano le portanti. I codici sono delle onde quadre formate da Transizioni di valori $+1$ e -1 generati da un algoritmo che si ripete periodicamente nel tempo. Vengono detti per questo motivo "pseudo casuali" o PRN (Pseudo Random Noise). I codici modulano le portanti e producono uno sfasamento di π sulla fase. I codici sono chiamati:

C/A (Coarse Acquisition) $f_{C/A} = f_0/10 = 1,023 \text{ MHz}$ $\lambda_{C/A} = c/f_{C/A} = 300 \text{ m}$

P (Precision) $f_P = f_0 = 10,23 \text{ MHz}$ $\lambda_P = c/f_P = 30 \text{ m}$

Il codice C/A è disponibile a uso civile e modula solo la portante L1, si ripete ogni millisecondo e fornisce un identificativo del satellite.

Il codice P è riservato al uso militare e altri utenti autorizzati e modula entrambe le portanti L1 e L2 sfasate di $\pi/2$, si ripete ogni settimana.

Per estrarre l'onda dai codici, azione "demodulare", conoscendo il codice è possibile rimodulare l'onda di portante. Il sistema GPS include possibilità di liberazione o mascherare il codice P con un codice W(t) in modo da renderlo occultabile rispettivamente a tutti gli utenti o solo a quelli autorizzati, questa procedura è detta Anti-Spoofing.

- Componente MESSAGGIO: il messaggio navigazionale D ha una frequenza $f_D = f_0/204800 = 50 \text{ Hz}$ contiene importanti informazioni quali le effemeridi dei satelliti, ovvero i parametri per il calcolo della loro posizione, il loro stato di salute e informazioni sugli orologi di bordo. Il segnale trasmesso che ne risulta è quello delle portanti modulato dai vari codici. Il segnale L2 è modulato dal messaggio D e dal codice P, il segnale L1 ha una parte sfasata di $\pi/2$ modulata dal codice C/A e una modulata dal codice P.

La distanza tra i centri di fase del satellite e del ricevitore può essere misurato con

- misura di codice: a partire dal tempo di propagazione del segnale del satellite al ricevitore;
- misura di fase: a partire dal numero di cicli interi e dalla parte frazionaria dell'onda sinusoidale

I segnali GNSS sono complessi poiché devono mantenere sequenza della posizione del ricevitore in campo militare, misura di codice = posizionamento istantaneo di buona precisione, misura di fase = posizionamento di precisione, più frequenza = continue e modellare effetto rifrazione del segnale.

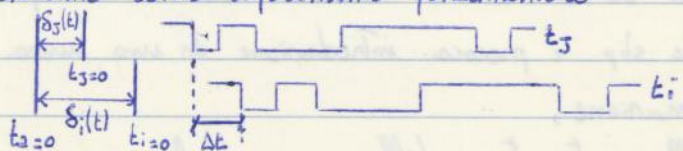
Si conoscono due segnali, all'istante d'arrivo del segnale nel ricevitore, questo è in grado di emettere una replica identica. I segnali all'istante di ricezione sono:

- segnale trasmesso dal satellite;
- segnale generato localmente dal ricevitore

I due segnali pur essendo identici sono spostati nel tempo a causa del fatto che il segnale trasmesso ha già percorso lo spazio Terra-satellite. Il ricevitore è in grado di allineare i due segnali, ricercando il massimo di correlazione, il tempo di volo equivarrebbe allo spostamento da dare alla replica del segnale per farlo allineare. Chiamiamo R_i^j la distanza tra satellite^(j) e ricevitore⁽ⁱ⁾ $\Rightarrow R_i^j(t) = c \cdot \Delta t$ con $c = 3 \cdot 10^8$ m/s velocità della luce nel vuoto

la distanza misurata è uno PSEUDORANGE in quanto gli orologi dei satelliti e del ricevitore non sono sincroni ma vi è un offset, vi sono così 3 scale temporali

- 1- scala di tempo atomica (t_a), che si assume come riferimento fondamentale
- 2- " " " del satellite (t^j)
- 3- " " " del ricevitore (t^i)



Riferendo tutti i tempi alla scala fondamentale t_a , il RANGE sarà:

$$R_i^j(t) = c [(t^j + \delta S^j(t)) - (t_i + \delta S_i(t))] = c [(t^j - t_i) + \delta S^j(t) - \delta S_i(t)] = c [\Delta t + \Delta \delta S_i^j(t)] = \rho_i^j(t) + c \Delta \delta S_i^j(t)$$

dove: $R_i^j(t) =$ misura ottenuta tra satellite j e ricevitore i

$$\rho_i^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_i)^2 + (Y^j(t) - Y_i)^2 + (Z^j(t) - Z_i)^2}$$

$\Delta \delta S_i^j(t) = \delta S^j(t) - \delta S_i(t) =$ combinazione tra bias degli orologi satellite j e ricevitore i

Il bias dell'orologio può essere modellato rispetto ad un'epoca di riferimento t_0 con il polinomio: $\delta S^j(t) = a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2$

Consideriamo sincronizzati fra loro gli orologi atomici di tutti i satelliti in quanto queste ripetizioni non è possibile rimuovere e comporta un errore approssimativamente del [ms] (10^{-3} secondi) verso alla velocità della luce di circa 30 cm sulla distanza ricevitore-satellite. Gli orologi dei ricevitori sono in quanto con l'abilità inferiore e quindi errore del ms (10^{-3} secondi) che porta ad un errore sulla distanza ricevitore-satellite di circa 300 km, non accettabile, si considera allora incognito l'errore (offset) dell'orologio del ricevitore $\delta S_i(t)$ ogni epoca di misura.

l'equazione dello PSEUDORANGE sarà: $R_i^j(t) = c \delta S^j(t) - \rho_i^j(t) - c \delta S_i(t)$

► Perché è necessario vedere 4 satelliti? SOLUZIONE PAG 18, LIBRO (CINA)

Faccendo stima del n° equazioni e n° inc. con la configurazione base prende n° eq > n° inc. quindi si dimostra che per una posizione del ricevitore mobile in ogni istante devono trascorrere almeno 4 satelliti.

POSIZIONAMENTO RELATIVO

Obiettivo: determinare il vettore "Base-line" ovvero le componenti del vettore che unisce due antici su cui stazionano due ricevitori $A \rightarrow B$

Posizionamento relativo può essere fatto su misure di codice o misure di fase, in pratica solo misure di fase. Necessario fare misure simultanee con almeno due ricevitori.

Metodi alle differenze di fase:

- SINGOLE DIFFERENZE = due ricevitori A e B, osservano simultaneamente 1 stella j , il stella viene tracciato con continuità, NO cycle slip (interruzione segnale).

$$\left. \begin{aligned} \phi_A^j(t) - F^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_A^j(t) + N_A^j - F^j \delta_A(t) \\ \phi_B^j(t) - F^j \delta^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_B^j(t) + N_B^j - F^j \delta_B(t) \end{aligned} \right\} \text{differenziamo } \phi_B^j(t) - \phi_A^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_B^j(t) - \rho_A^j(t)] + N_B^j - N_A^j - F^j [\delta_B(t) - \delta_A(t)]$$

da differenze prima porta eliminazione dell'errore $F^j \delta^j(t)$ legato orionismo orologio stella.

$$\boxed{\phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - F^j \delta_{AB}(t)}$$

- DOPPIE DIFFERENZE = due ricevitori A e B osservano due stelle j, k , tracciamento continuo NO cyclic slip

$$\left. \begin{aligned} \phi_{AB}^j(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - F^j \delta_{AB}(t) \\ \phi_{AB}^k(t) &= \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k - F^k \delta_{AB}(t) \end{aligned} \right\} \text{differenziamo } \phi_{AB}^k(t) - \phi_{AB}^j(t) = \frac{1}{\lambda} [\rho_{AB}^k(t) - \rho_{AB}^j(t)] + N_{AB}^k - N_{AB}^j$$

Si assume che le frequenze dei due stelle sono uguali $F^j = F^k$ e quindi, si eliminano, da doppie differenze eliminano errori legati agli orologi dei ricevitori, rimane solo l'ambiguità

$$\boxed{\phi_{AB}^{jk}(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk} + N_{AB}^{jk}}$$

3 - ERRORI NELLE MISURE GPS E LORO PRECISIONE

La precisione delle misure GPS dipende dalla precisione con cui possono essere determinati i RANGE satellite-ricevitore. Vi sono Tre Tipi di errore:

1. Errori accidentali di misura
2. Errori sistematici o di modello (bias): errori d'orologio, rifrazione Troposferica e ionosferica, errori d'orbita
3. Errori non di ommissione: percorsi multipli, elettronica del ricevitore, interferenze elettromagnetiche, variazioni posizione del centro di fase.

Questi errori sono intrinsecamente presenti nelle misure, ma esistono altri errori indotti volontariamente dal gestore del sistema GPS allo scopo di degradare le precisioni del posizionamento = si parla di SA (Selective Availability)

1 - ERRORI ACCIDENTALI

Secondo una regola empirica la precisione può essere stimata come l'1% della lunghezza d'onda, quindi si ha:

$$\text{codice C/A} \rightarrow \text{precisione} = 1\% \cdot \lambda = 1\% \cdot 300\text{m} = \pm 3\text{m}$$

$$\text{codice P} \rightarrow \text{precisione} = 1\% \cdot \lambda = 1\% \cdot 30\text{m} = \pm 0,3\text{m}$$

$$\text{portanti L1, L2} \rightarrow \text{precisione} = 1\% \cdot \lambda = 1\% \cdot 20\text{cm} = \pm 2\text{mm}$$

2 - ERRORI SISTEMATICI (BIAS)

- Errori di orologio dei satelliti e ricevitori, si suddivide il termine di errore in due parti:
 - crononismo (offset) = Traslazione temporale dell'origine dei tempi;
 - deriva dipendente dal tempo;

d'errore d'orologio del ricevitore può essere anche 100m, errore orologio satellite $\sim 5:10\text{m}$

- Errore di orbita, il presupposto per il posizionamento GPS è la conoscenza delle effemeridi dei satelliti e queste sono note con precisione di una o seconda che siano:

effemeridi Transmissi broadcast: sono predette e hanno precisione del centesimo metri

effemeridi "precise": sono calcolate a posteriori hanno precisione metrica

Hanno notevole influenza sul posizionamento assoluto ma minore importanza se il posizionamento viene eseguito in maniera differenziale o relativa.

- Rifrazione Troposferica:

Troposfera è la parte bassa dell'atmosfera, circa 40km. Può essere divisa in due parti

5 - POSIZIONAMENTO DIFFERENZIALE DGPS

È una tecnica nella quale si usano due o più ricevitori: uno su di un vertice di riferimento A (stazione base) di posizione nota ed uno su B (stazione remota), solitamente in movimento che occupa i punti di nuova determinazione. Da stazione base A, calcola le correzioni di pseudorange PRC e le variazioni nel tempo RRC che vengono trasmesse entrambe al ricevitore remoto.

Questo posizionamento differenziale può essere applicato al RANGE del codice o della fase.

DGPS CON MISURE DI CODICE

Il RANGE di codice sulla stazione A, misurato all'epoca t_0 è modellato così:

$$R_A^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) + \Delta \rho_A^j(t_0) + c \delta^j(t_0) - c \delta_A(t_0)$$

dove $\Delta \rho_A^j(t_0)$ è l'errore orbitale radiale; il range $\rho_A^j(t_0)$ è noto in quanto sono note le coordinate della stazione A, da correzione del range di codice per il satellite j all'epoca t_0 è: $PRC^j(t_0) = -R_A^j(t_0) + \rho_A^j(t_0) = -\Delta \rho_A^j(t_0) - c \delta^j(t_0) + c \delta_A(t_0)$

Da una serie temporale di correzioni PRC può essere voluta la sua variazione nel tempo RRC, da correzione di range di codice ad un'arbitraria epoca t sarà:

$$PRC^j(t) = PRC^j(t_0) + (RRC^j(t_0)(t-t_0)) \quad (1)$$

dove il termine $(t-t_0) = \text{LATENZA}$ determinante per la precisione di posizionamento, e non è altro che la differenza di tempo tra il calcolo della correzione, nella stazione base, e la sua applicazione nel ricevitore remoto.

Il RANGE di codice nella stazione remota B, all'epoca t , viene determinato così:

$$R_B^j(t) = \rho_B^j(t) + \Delta \rho_B^j(t) + c \delta^j(t) - c \delta_B(t)$$

Applicando la correzione di RANGE (1): $R_B^j(t)_{\text{CORRETTO}} = \rho_B^j(t) - c \Delta \delta_{AB}(t)$

dove $\Delta \delta_{AB}(t) = \delta_B(t) - \delta_A(t)$ combinazione degli errori d'orologio dei ricevitori.

L'effetto perturbante della SA (degrado orologi e orbite) viene virtualmente eliminato, lo stesso per gli altri effetti di disturbo quali rifrazione ionosferica e Troposferica. La posizione del punto B è calcolata con pseudorange di codice "corretti".

DGPS CON MISURE DI FASE

Il RANGE satellite - ricevitore misurato sulla portante nella stazione base A all'epoca t_0 è:

$$\lambda \phi_A^j(t_0) = \rho_A^j(t_0) + \Delta \rho_A^j(t_0) + \lambda N_A^j + c \delta^j(t_0) - c \delta_A(t_0)$$

6-TRATTAMENTO DATI GPS IN MODALITÀ SINGOLA BASE

In una campagna GPS, due sono gli approcci possibili per il trattamento dei dati:

- Approccio MULTIBASE: vengono considerati e compensati in blocco tutti i vertici della rete e le posizioni dei satelliti per ogni sessione di misure. È l'approccio più rigoroso che tiene conto della geometria globale del problema.
- Approccio SINGOLA BASE: vengono elaborate le singole basi indipendenti senza tenere in conto le loro correlazioni. Maggiore semplicità.

SCHEMA DI TRATTAMENTO DATI

Si parte da valori approssimati che vengono migliorati durante l'elaborazione; le principali fasi del trattamento sono:

1. Soluzione "punto singolo" con misure di codice, la soluzione è dedotta con PSEUDORANGES sul codice C/A o P
2. Disegno della rete tramite singole differenze di fase, bisogna decidere quali basi indipendenti considerare nel trattamento
3. Trattamento dati con le equazioni alle "Triple differenze" (soluzione TRP): a partire dalle coordinate approssimate ottenute precedentemente

In questo modo possiamo determinare le componenti $(\Delta X \Delta Y \Delta Z)_{TRP}$ del vettore BASE-LINE nel sistema di riferimento geocentrico WGS84 senza bisogno di conoscere l'ambiguità di fase. Al termine delle differenze triple, sono riconoscibili i cycle slip ed è possibile il loro recupero.

4. Elaborazione alle "doppie differenze", soluzione con ambiguità non fissate (soluzione FLT): vengono rideterminate con processo iterativo le componenti $(\Delta X \Delta Y \Delta Z)_{FLT}$ del vettore BASE-LINE. Le uniche incognite sono le combinazioni delle ambiguità N_{AB}^{jk} , e ρ_{AB}^{jk} = starting vector:

$$N_{AB}^{jk} = \phi_{AB}^{jk}(t) - \frac{1}{\lambda} \rho_{AB}^{jk}(t)$$

5. Fissaggio ad intero delle ambiguità, il programma di calcolo espone le deviazioni standard dei parametri "ambiguità" verificando che siano pari a piccole frazioni di ciclo, il fissaggio è indicato dal fattore RATIO

6. Elaborazione alle "doppie differenze", soluzione con ambiguità fissate (FIX) vengono rideterminate le componenti $(\Delta X \Delta Y \Delta Z)_{FIX}$ del vettore BASE-LINE, l'unica incognita è ρ_{AB}^{jk} termine geometrico che contiene $\Delta X \Delta Y \Delta Z$

$$\rho_{AB}^{jk}(t) = \lambda [\phi_{AB}^{jk}(t) - N_{AB}^{jk}]$$

una volta determinate queste ambiguità si procede con le altre soluzioni iono free, L1, nonov-lane; la soluzione IONO-FREE FIX è quella ottimale nella maggior parte dei casi, da soluzioni IONO-FREE FLT - non ottima per basi corte (<30km), no bene se >100km, da soluzioni WIDE-LANE FIX: con basi 15-30km, rappresenta compromesso intermedio per risolvere ambiguità e successo solo IONO-FREE, da soluzioni L1 FIX: da usare su basi corte

ELABORAZIONI IN SINGOLA FREQUENZA

da soluzioni ottimali e FIX (ambiguità finte od intere). Se soluzione non passa il test del RATIO viene generata la soluzione ad interi non risolti (FLT)

Per basi >15km difficile arrivare a soluzione FIX in singola frequenza e cause ritardi ionosferici non eliminabili in singola frequenza.

- a. possibilità di eseguire misure cinematiche in tempo reale
 - b. possibilità di collegamento con altri sensori
 - c. fornire dati in realtà
- a) è necessario ricevere nel ricevitore mobile, informazioni differenziali calcolate da una stazione base tramite protocollo RTCM, la portata di questo collegamento è limitata a pochi km. Il ricevitore deve disporre di:
- Firmware in grado di ricevere e applicare le correzioni in tempo reale sul range del codice o fare;
 - per misure cinematiche di fare in tempo reale un firmware RTF; - radiotrasmettente ricevente il protocollo RTCM.
- b) apparati inerziali, laser scanner, camere fotogrammetriche
- c) coordinate in tempo reale o dati grezzi (per una successiva elaborazione)

9 - PROGETTAZIONE MISURE GPS

la progettazione è fondamentale quando si vogliono ottimizzare precisione, affidabilità delle coordinate e il rapporto costo/prestazione.

SCELTA DEL SITO DI MISURA

Oltre alla interdipendenza dei vertici della rete occorre verificare:

- assenza di ostacoli, sopra un'elevazione di 15° o rilevare la presenza con misure speditive di azimuth e elevazione. Dopodiché si valuta occultamento alle ricevitori satellitari dato dall'angolo
- assenza di superfici riflettenti, come muri di MULTISTRA la loro presenza
- assenza di campi elettromagnetici, la presenza di apparati che emettono radiofrequenze può interferire con il segnale GPS.

SCELTA DELLA FINESTRA DI OSSERVAZIONE

Il periodo ottimale si ha quando si possono osservare il maggior numero di satelliti, ciò non basta. La bontà geometrica delle configurazioni satellitari si misura con l'indice GDOP (Geometric Dilution of Precision), questo può essere scomposto nelle componenti: PDOP, HDOP, VDOP, TDOP (Position Horizontal, Vertical, Time DOP). La definizione di DOP è di tipo statistico. Sia C_{XX} la matrice di covarianza covarianza delle coordinate del sito, ottenuta considerando una matrice dei phi unitaria:

$$C_{XX} = A^T A = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy}^2 & \sigma_{xz}^2 & \sigma_{xt}^2 \\ \sigma_{xy}^2 & \sigma_y^2 & \sigma_{yt}^2 & \sigma_{yt}^2 \\ \sigma_{xz}^2 & \sigma_{zt}^2 & \sigma_z^2 & \sigma_{zt}^2 \\ \sigma_{xt}^2 & \sigma_{yt}^2 & \sigma_{zt}^2 & \sigma_t^2 \end{bmatrix}$$

10- TECNICHE D'ACQUISIZIONE

Hanno caratteristiche e precisioni diverse:

- STAND-ALONE: posizione assoluta punto singolo con PSEUDORANGE ha precisioni di $\pm 100m$ in planimetria e $\pm 150m$ in altimetria in presenza di SA e $\pm 10-20m$ senza SA. Applicazioni navigazionali ma non Topografiche
- DIFFERENZIALI (DGPS): vengono connette le osservazioni di RANGE con connessioni differenziali collegate in una stazione base di posizione nota, le portate e le precisioni sono riprodotte:

Osservazioni	Distanza stazioni	Precisione
RANGE DI CODICI	~ 100 Km	metrica
FASE CHUSATA	~ 100 Km	metrico-submetrica
RANGE DI FASE	10 Km	altimetrica

- RELATIVE: si determina il rettoce BASE-LINE che congiunge i vertici occupati dalle stazioni, l'elaborazione è fatta a posteriori, trattando i dati acquisiti nel sistema "base" e "mobile" con il metodo delle doppie differenze. I metodi principali sono

STATILO	TEMPO MISURA	LUNGH. BASE	PRECISIONE	caratteristiche
	120s, 101s, 3-40s	10 Km, 30 Km	$10^{-6} - 10^{-8}$	reti ingegneristiche alta precisione
RAPIDO STATILO	20-30 min (L1) 6-8 min (L1+L2)	< 15 Km	10^{-6}	" " e raffinemento
CINEMATICO STOP & GO	< 1 minuto	< 10 Km	centimetrica	punti fiduciali e rilievo dettaglio
CINEMATICO CONTINUO	CONTINUO	10 Km	centimetrica	Traiettorie, monitoraggio continuo

In questi metodi relativi la discriminante è il tempo di acquisizione, questo oltre essere un buon compromesso tra esigenze di misura e dimensioni file di trattore.

ESECUZIONE MISURE GPS

3 variabili permettono di programmare acquisizione e tipo di misura, le principali caratteristiche da impostare sono:

- inizio e fine delle misure
- intervallo campionamento in secondi
- maschera di elevazione (15°)
- maschera di PDOP (< 6)

Ma in stazione = parte centro di fase antenna GPS sulle antenne per punto di stazione, importanti anche misure altre strumentali

FOTOGRAMMETRIA, RADDRIZZAMENTO E ORTOFOTO

IMMAGINI DIGITALI

In fotogrammetria digitale, dato primario è espresso in forma di immagine digitale in cui il contenuto fotografico (RADIOMETRIA) è registrato sotto forma di numeri. Il RASTER è la suddivisione dell'immagine in elementi elementari di dimensioni finite = PIXEL e ad ognuno di essi è associato un n°. Ogni pixel è visto come un elemento di una matrice e quindi viene individuato univocamente da due numeri interi (riga, colonna). Il pixel ha una posizione fissa e propria che non può variare nel tempo.

Se l'immagine deve rappresentare un oggetto formato da due soli colori (bianco e nero) la radiometria può essere espressa da due soli numeri interi: 0 = BIANCO 1 = NERO (la registrazione richiede 1 bit per ogni pixel).

Se deve rappresentare un oggetto in Tanti di grigio la radiometria può essere espressa con un n° intero variabile tra 0 (nero) e 255 (bianco). d'intervallo è costituito da 256 parti giustificato dal fatto che l'occhio umano riconosce circa 80 grigi diversi, un intero tra 0 e 255 può essere memorizzato in 1 byte.

Se deve rappresentare un oggetto a colori usiamo rappresentazione della radiometria: IMMAGINE TRIVIALE COLORE ogni colore è visto come somma di tre bande (rosso, verde, blu); la radiometria di un pixel è rappresentata da Tre numeri interi che esprimono le intensità delle 3 bande primarie.

I formati più diffusi in ambito fotogrammetrico sono JPEG e TIFF

Contenuto metrico immagini digitali: occorre fissare un sistema di riferimento (ξ, η) che consista di origine e ogni pixel coordinate reali, in Tale sistema il pixel assume dimensioni finite ($\Delta\xi, \Delta\eta$) e si considera la posizione del suo baricentro. Si può determinare una corrispondenza biunivoca tra la posizione (i, j) del pixel all'interno della matrice immagine e le sue coordinate cartesiane (ξ, η).

Da immagini analogiche e digitali si può tramite SCANNER

le dimensioni del pixel di un'immagine digitale sono indicate in termini di densità di campionamento (RISOLUZIONE) questa indica il n° di pixel contenuti in un'opportuna unità di lunghezza. da risultare viene solitamente indicata in DOTS PER INCH (DPI) n° di pixel in un pollice (25,4 mm). I pixel sono quadrati quindi stessa risoluzione in entrambe le direzioni. $200 \text{ dpi} \rightarrow d_{\text{pixel}} = \frac{25,4}{200} = 0,127 \text{ mm}$

Si può ricorrere a procedure che permettano di generare un prodotto cartografico in modo automatico eliminando operazioni di restituzione e editing, si usa raddrizzamento e ortorectificazione.

Precisione con cui si identifica un pixel dentro matrice è di $\frac{\delta}{2}$ con $\delta = \text{dimensione pixel}$

PRODUZIONE DI CARTOGRAFIA E FOTOGRAHMETRIA

Fotogrammetria = scienza per determinare posizione e forma di oggetti a partire da immagini, con una procedura di restituzione, le immagini possono essere di tipo analogico o digitali.

Dalle misure fotogrammetriche possiamo derivare: coordinate numeriche, cartografia planaltimetrica, immagini metriche (fotografie rettifiche).

La fotogrammetria è usata per produzione di cartografia, modelli digitali del terreno, nuove reti di vertici di riferimento.

Nella fotogrammetria ho due fasi: 1- rilievo di inquadramento (come per appoggio ai fotogrammi e portare la restituzione in un sistema assoluto);

2- rilievo di dettaglio: prende il nome di "restituzione" in fotogrammetria.

PRESA AEROFOTOGRAHMETRICA: ricoprimento "longitudinale" 60% ma anche "trasversale" tra le strisciate 20% o 60%.



B) Il fotogramma è una prospettiva centrale dell'oggetto, la prospettiva centrale trasforma oggetto da 3D a 2D

RESTITUZIONE FOTOGRAHMETRICA = intersezione delle direzioni tra il punto immagine e il centro di presa. Numero ricostruire 1) proiettività 2) angolo della presa → Orientamenti interno ed esterno

STELLA DI DIREZIONI = definito l'orientamento interno è possibile tracciare la stella di direzioni formata dalle rette che uniscono i singoli punti immagine con il centro di proiezione

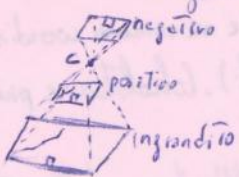


ORIENTAMENTO INTERNO = insieme dei parametri utili a definire la geometria interna della camera di presa ξ_0, η_0 coordinate del punto principale nel sistema fiduciario, c distanza principale della camera. *

ORIENTAMENTO ESTERNO = insieme dei parametri utili alla definizione dell'angolo spaziale della camera. Essenzialmente definisce la posizione spaziale di un corpo rigido (camera) nello spazio.

EQUAZIONI DI COLLINEARITÀ = supponendo due sistemi $x'y'z'$ parallelo al sistema X,Y,Z ovvero la collinearità (allineamento) si verifica quando le due tangenti di direzione sono uguali $T_x = t_x, T_y = t_y$ ⊗

FOTOGRAHMA (negativo, positivo, ingrandito)



* ^{distorsione obliqua} il raggio incidente entra con un certo angolo d'incidenza t nell'obiettivo ed esce con un angolo $t' \neq t$, le lenti componenti l'obiettivo sono a simmetria cilindrica molto raffinate: si può supporre che la distorsione sia quasi esclusivamente radiale.

⊗ T_x, T_y = Tangenti di direzione nel sistema parallelo, t_x, t_y = Tangenti di direzione nel sistema immagine

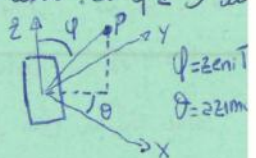
ORIENTAMENTO RELATIVO SLIDE

VISIONE STEREO SCOPICA:

- Naturale = fusione in un'unica immagine tridimensionale, delle due immagini formatesi sulle retine.
- Anaglife = crea artificialmente la stereoscopia, si stampano immagini rosso e azzurro e si mettono occhiali con due lenti ognuna può filtrare un colore.
- A specchi = con ingrandimenti. Tramite lenti
- Filtri polarizzati = sfruttano fenomeno della polarizzazione della luce i filtri sono messi di fronte al monitor del PC sul quale sono proiettate immagini stereoscopiche.
- Nuova stereoscopia

⊙ RESTITUTORI (DIELO)

LIDAR: tecnica ultrasonoro con un determinato diametro d da oggetto con impulso laser. x, y e z del piano sono misurabili allora deduco coordinate XYZ da quelle sferiche:

$$\begin{cases} x = d \sin \theta \cos \phi \\ y = d \sin \theta \sin \phi \\ z = d \cos \theta \end{cases}$$


- Rilievo con stazione totale = procedure intelligente dove iho punti necessari a definire l'oggetto.
- Rilievo LIDAR = procedura non intelligente dove si fa in modo che tutto l'oggetto sia acquisito, risultato = nuvola di punti
- Misura delle distanze può avvenire in due modalità: - misure coordinate con GNSS e anelli con piattaforma inertele IMU/INS (tipico aerei laser aerei); - misure tramite rotazione dello strumento e di uno specchio emettitore (laser terrestri).

Misura distanza laser: si solite intervalli di tempo tra trasmissione impulso e ricezione del segnale riflesso.

Natura raggio LASER = sorgente ottica di fotoni coerenti, messi in un fascio stretto, energia elevata, impulsi brevi come lampadine normali od incoerenza molte fotoni incoerenti in tutte le direzioni.

Tipologie laser Terrestri:

▷ distanziometri = misurano come le stazioni totali e la distanza del raggio laser, in un s.c. strumentale, e oltre della rotazione dello strumento e dello specchio.

▷ distanziometri TOF (e Tempo di volo) = invia impulsi di durata T , occhio conteggiatore il numero N e misura i tempi residui t_a e t_b corrispondenti a start e stop. $\Delta t = NT + t_a + t_b$ da cui $d = \frac{v \Delta t}{2}$

Raggio laser generato da oscillatori con precisione $3 \cdot 10^{-8}s$ $sgm = 3 \cdot 10^{-8} \cdot c = 9m$

Voluzione tempi residui t_a e t_b è fatta con condensatore caricato da corrente continua $t_a = \frac{V_a}{V} T$ $t_b = \frac{V_b}{V} T$

precisione circa come quella della misura di fase "ppm-d".

▷ distanziometri e misura di fase = misurano sfasamento tra onde sinusoide emesse $S_e(t) = A \sin(\omega t + \phi_0)$ e quelle ricevute $S_r(t) = A \sin(\omega(t + \Delta t) + \phi_0)$ e sommiamo n intero di λ .

▷ Triangolatori = modalità simile e interazione in avanti, da laser noto, il segnale di ritorno è raccolto da un sensore di una camera digitale per la determinazione dell'angolo. Precisione millimetrica

- Caratteristiche tecniche laser terrestri = in base a portata sono classificati in:
- piccole portata (< 1m) -> triangolatori
 - medie " (1-50m) -> distorm.
 - lunga " (50-1000m) -> dist.

Oltre a precisione e portata che considero per scegliere dispositivo laser, velocità acquisizione, campo di misura, riconoscimento segnali, portate reali, risoluzione.

Caratteristiche operative:

- ▷ Portate effettive = dipende meno strumento, materiali oggetto, condizioni distorm
- ▷ Campo misura = - laser somma fino -> campo più e 0.5 stroboscopi
- " " quota come -> 5 " " 5 "
- " " " 20m -> " " 11.6-40 "

che ha campo da $4\pi \sigma t_k$.

▷ Registratori autonomi = dotati di software per registrazione

▷ trasportabilità e autonomia = custodia protetta

LASER: monocromatico; direzionalità, coerenza Temporale.

SISTEMA INERZIALE



INS = sistema inerziale, ogni dato dipende da quelli precedentemente misurati. Oggetti in movimento.

Rilevo = accelerazioni e vel. angolari

GNSS = utilizzato principalmente per posizionamento statico di punti; Rilevo = pseudo-range e codici o fasi

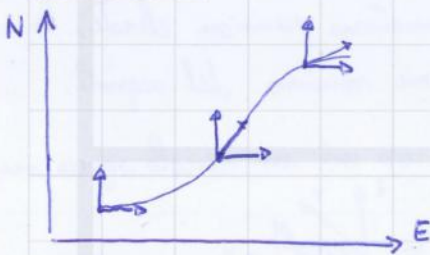
Navigazione = metodi e tecniche per determinare uno o più dati (posizione, velocità) di un oggetto in moto.

PRINCIPIO FISICO (INS): 1° legge Newton → quando solido → il sistema è detto inerziale $F = m \cdot a$ capacità di misurare forze allora permette di conoscere a .

NB grandezza fisica più importante è accelerazione del corpo.

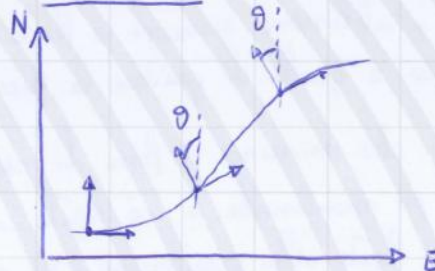
INS composto da (IMU) (unità di misura inerziale), in grado di misurare accelerazioni per integrazione ottengo velocità e spostamento.

GIMBALED



Piattforma mantenute // a N e E, rotazioni di azimuth mantenute con giroscopi, conette con servomotori.

STRAPDOWN



Angolo azimutale (θ) misurato dal giroscopio viene usato per proiettare le accelerazioni del Body-frame al navigation-frame, mediante rotazioni.

(IMU) = composta da due Triade \perp di sensori uno di accelerometri e uno giroscopi e un'altra Triade di magnetometri.

FRAME = multidimensionalità e tema dei sistemi di riferimento.

I-FRAME = geocentrico pseudo-inerziale, solido allo tema, origine nel baricentro terrestre

E-FRAME = geocentrico in cui one verticale diretto verso polo nord convenzionale (ECEF)

N-FRAME = sistema navigazionale, solido al piano terreno $\begin{matrix} \uparrow N \\ \perp E \end{matrix}$

B-FRAME = sistema mobile, body-frame, tema costanza solido col corpo in movimento



Nel caso in cui bias non venga allora si ha che provoca un errore e proporzionale al quadrato del tempo riferisce al bias ma all'effetto che esso deriva dal giroscopio (deg/h o deg/s). Il valore di deriva viene usato per rappresentare qualità del sensore inerziale.

compensato in fase di post-processamento proporzionale al tempo nella velocità nella posizione. Nel giroscopio non si ha sugli angoli, definendo la cosiddetta

STRATEGIC - GRADE	= Bias accelerometro	1µg	; deriva giroscopio	0,0001 deg/h	; errore < 30%
NAVIGATION - GRADE	= " " "	50-100µg	; " " "	0,015 deg/h	; " 1-2 km/h
TACTICAL - GRADE	= " " "	100-1000µg	; " " "	1-10 deg/h	; " > 20 km/h

IB I Bias possono essere periodicamente compensati con una calibrazione, ruotando lo strumento su ognuna delle 6 facce.

Calibrazione Sensori Inerziali: regole output accelerometri e giroscopi con modello

$$\left. \begin{aligned} I_a &= f + b_a + S_a \cdot f + N \cdot f + \gamma + d\gamma + \epsilon_f \\ I_w &= w + b_w + S_w + N_w + \epsilon_w \end{aligned} \right\} \text{Output} = \text{Force/vel ang.} + \text{BIAS} + \text{Erti. Scala} + \text{Non Linearità} + \text{Rumore misure}$$

Errori statici ricorribili: nel caso di misure statiche (20 minuti), il metodo tradizionale è il TEST STATICO DELLE 6 FACCE: consiste nel lasciare per circa 20 minuti il sensore appoggiato su ciascuna faccia, registrando output accelerometri e giroscopi. Da confronto tra output delle due facce opposte si ha una stima degli errori sistematici.

da componenti Errori Accidentali trattate come rumore bianco, e media nulla, ridotte tramite utilizzo di strumenti a elevate frequenze.

Spettro risposta IMU: errori accidentali (STE) rappresentano componente disturbo maggiore, filtrato.



In elettronica il filtraggio può trasformare Fourier.

(LTE) componenti errore detto "run-to-run" sono all'occlusione dello strumento

Navigazione Assistita: GNSS + INS (combinano navigazione precisa e autonoma lunghi tempi) l'integrazione dei due avviene in tempo reale o post-processamento.

ACCOPPIAMENTO LASSO = unione delle soluzioni dei due sistemi (memoria 4 satelliti)

vantaggi = semplicità; svantaggi = ciclo slip, ricurvature soluzioni

ACCOPPIAMENTO STRETTO = combinazione delle osservazioni GNSS + IMU (ma anche meno 4 satelliti)

svantaggi = maggiore difficoltà implementazione.

Applicazioni: HMS (Mobile Mapping System) -> strade, cotesto, manutenzione e ricerca stradale, guida autonoma veicoli

Applicazioni UAV (Unmanned Aerial Vehicle) -> droni

Tutte le stime possibili dovranno stare nel piano generato da a_1, a_2

ne applico proiezione su y_0 intorno \hat{y}

Scelgo la stima che ha la minor distanza di y_0 da quel piano. da questo scio

Il tale piano ed è quello che rende minima la distanza tra piano e vettore y_0 .

*) $N = A^T \cdot A \cdot P$ matrice normale $P = A(A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$ matrice quadrata proiezione (dim. n)

permette di porre da piano misure reali e quelle ammissibili.

$R = I - P$ matrice RIDONDANZA (dimensione $m-n$) $m = \text{no di misure}$ $n = \text{no di incognite o parametri}$

$\hat{y} = y_0 - \hat{y} = (I - P) \cdot y_0 = R \cdot y_0$

↓
vettore
scarti
↳ misure reali, vettore misurato

Di solito non si conosce matrice varianza-covarianza C_{yy} ma solo matrice P (pesi). $P^{-1} = Q = \frac{1}{\sigma_0^2} \cdot C_{yy}$

Si può ricavare la stima di $\sigma_0^2 \rightarrow \hat{\sigma}_0^2$

$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{y}^T P \hat{y}}{m-n}$ VARIANZA UNITA' DI PESO $\Rightarrow C_{xx} = \hat{\sigma}_0^2 \cdot N^{-1}$ MATRICE VARIANZA-COVARIANZA

questa matrice è quadrata, simmetrica, semidefinita positiva $\det[C_{xx}] > 0$

Si può anche identificare matrice varianza-covarianza degli scarti

$C_{\hat{y}\hat{y}} = C_{y_0 y_0} - C_{y_0 \hat{y}} = \hat{\sigma}_0^2 [P^{-1} - A N^{-1} A^T]$

nessuna misura dà contributo alla ridondanza delle reti e la somma dei contributi è ridondanza totale $m = \text{no eq.}$ $n = \text{no inc.}$ $[m-n=r]$ ridondanza

Un difetto del metodo ai minimi quadrati è che spalma l'errore su tutti gli

scarti, quindi uno scarto elevato non implica necessariamente errore.

*)

Conosco Q_A

$\Delta_{AB} = Q_B - Q_A$
 $\Delta_{BC} = Q_C - Q_B$
 $\Delta_{CA} = Q_A - Q_C$
 $\Delta_{DB} = Q_B - Q_0$

$y_0 = Ax + b$ valori noti
 ciò che misuro | quello che voglio determinare

$\rightarrow \begin{pmatrix} \Delta_{AB} \\ \Delta_{BC} \\ \Delta_{CA} \\ \Delta_{DB} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Q_B \\ Q_C \\ Q_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -Q_A \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

$y_0 = A x + b$

Si definisce α = errore del I tipo quello che si commette rifiutando ipotesi nulla H_0 quando ma è una scelta reale.

Si definisce β = errore del II tipo quello che si commette accettando ipotesi nulla H_0 quando ma è falsa.

Se ipotesi H_0 e H_1 appartengono a popolazioni diverse



per $\alpha = 1\%$ e $\beta = 10\%$ allora $W_3 = 4,75$ soluzione controllata

PROBLEMA DEL MALCONDIZIONAMENTO = geometria delle reti di misura è fondam.

mentale per buone stime dei parametri. Il sistema può essere ridondante, ma quando $\det = 0$ quindi non invertibile l'inversa della matrice N prossima alla singolarità. Questa caratteristica dipende

da come la rete è costruita tramite le misure ed è solubile con il numero

di condizioni χ_{∞}
$$\chi_{\infty} = \frac{\max \sum N_{ij}}{\max \sum (N_{ij})^{-1}}$$
 N_{ij} = elementi matrice normale
 N_{ij}^{-1} = " " " inversa

$\chi_{\infty} \rightarrow 0$ il problema è malcondizionato   Nel 1° caso se bisogna

$\chi_{\infty} \rightarrow \infty$ il problema è bencondizionato a misurare angolo \hat{BAC} il punto C varia di molto a differenza del 2° caso

Un sistema è ben condizionato se piccole variazioni delle misure ci danno

piccole variazioni degli errori. Problema mal condizionamento si riproduce su N

calcolo poi C_{xx} e $\hat{\theta}^2$ e Trovo matrice ridondante $R = I - AN^T A^T$

$\chi_{\infty} = 0$ quando N è singolare ($\det = 0$)

diagonale r ottengo ridondanza globale e calcolo $\Delta y_i = \overset{\text{minimo errore possibile}}{MDS} = w_i \frac{\hat{\sigma}(y_i)}{\sqrt{r_i}}$

5. Affidabilità esterna: $\Delta \hat{x} = V \cdot MDS$ dove V è matrice che proietta le misure effettuate e affette da errore sul piano delle misure ammissibili

6. Compensazione: passo effettuare risoluzione problema e stima degli scarti,

neurone ricorrendo vettore termini noti $t_{mn} = A^T(y-z)$ calcolo $\hat{x} = N^{-1} t_{mn}$

Ricordo così sorto tra i districelli stimati e quelli osservati, da soluzione

possiede tre proprietà fondamentali: Efficienza (possiede varianza minima),

Consistenza (al tendere e ad di n numero elementi costituenti campione tende a

valore teorico del parametro stimato), Non affetto da errore sistematico.

Possiamo quindi calcolare $\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v^T v}{n-r}$ $v = \text{vettore scarti misurati}$ $n = \text{n° eqz.}$ $r = \text{n° incognite}$ $\Rightarrow \hat{\sigma}_0 = \sqrt{\hat{\sigma}_0^2}$

e infine $C_{xx} = \overset{\text{1 numero}}{\hat{\sigma}_0^2} \cdot N^{-1}$ prendendo diagonale matrice C_{xx} ottengo sqm

7. Dopo compensazione (Test sui parametri)

- Test sull'adeguatezza del modello, $\chi^2 \rightarrow$

- Test sugli scarti normalizzati (Thomson modificato) \rightarrow prima ipotesi degli scarti

è quella di valori che seguano una distribuzione normale.

Facciamo ipotesi di stima lineare ai minimi quadrati $Ax + a = y$, misure reali y_0

$$\frac{Ax + a}{y} - y_0 = y - y_0 = v \rightarrow \text{SCARTO}$$

ponendo $a - y_0 = -b$ si ha ~~non importa~~ $v = Ax - b$, il problema si risolve imponendo la condizione che $v^T P v = \text{minimo}$ e che ci sia condizione di congruenza per cui stime y appartengano al piano delle misure ammissibili: $\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P b = N^{-1} A^T P b$ } Condizione congruenza
 $\hat{x} = N^{-1} A^T P (y_0 - a)$

Se aggiungiamo misure $y_0(i+1)$ ci aspettiamo che stima aggiornata dei nuovi parametri x_{i+1} sia un'applicazione lineare dei vecchi parametri x_i ; quindi: $\hat{x}_{i+1} = L \hat{x}_i + K b_{i+1}$ STIMA AGGIORNATA

L e K sono incognite e applicazioni lineari sotto forma di matrici
 $L = (I - K A_{i+1})$ $K = \text{MATRICE GUADAGNO O MATRICE DI KALMAN}$

$$\hat{x}_{i+1} = \hat{x}_i + K (b_{i+1} - A_{i+1} \hat{x}_i)$$

\uparrow Termini noti:
 vecchi parametri matrice disegno nuovi termini

d'aggiornamento è rappresentato dal seguente termine $K(b_{i+1} - A_{i+1} \hat{x}_i)$

le equazioni di stato permettono correlazione e legame tra epoca precedente e epoca attuale

eq. di stato $\rightarrow X_k = \overset{\text{matrice di transizione}}{T_{k-1}} X_{k-1} + E_k$

$E_k = \text{muri occidentali}$

eq. di misure $\rightarrow b_k = A_k X_k + e_k$

$E_k = \text{muri dell'equazione di stato}$

Bertone Luca
Fantini Paolo

Politecnico di Torino

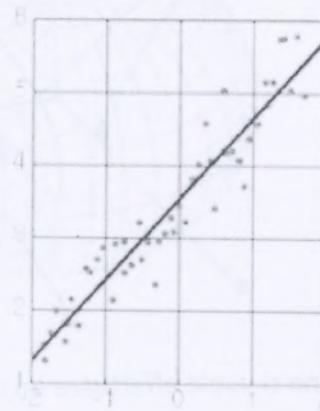
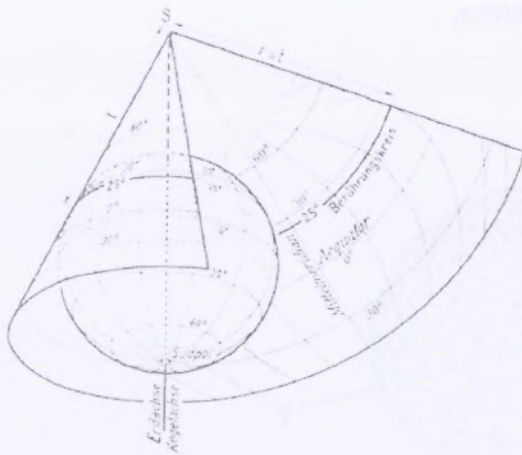
Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Corso di Geomatica – Prof. Manzino

A.A. 2012/13

ESERCITAZIONE 1

Minimi quadrati e cambio di sistema di riferimento



ESERCITAZIONE 1

orientamento, fanno sì che le coordinate geografiche di uno stesso punto valutate in datum diversi siano sensibilmente differenti tra loro.

Queste differenze possono raggiungere l'ordine di alcune centinaia di metri: è quindi sempre indispensabile stabilire con precisione il datum in cui si opera, quando si assegnano o si utilizzano coordinate di punti.

TRASFORMAZIONE DI HELMERT

A partire dalle coordinate fornite rispetto a due sistemi di riferimento geocentrici, da Roma40 a ETRF2000, che presentano traslazioni e diversi orientamenti con eventuali variazioni di scala e distorsioni. Inoltre si deve verificare che gli scarti calcolati non siano nulli e trascurabili per la cartografia fino alla scala 1:5000.

La procedura di trasformazione più frequentemente utilizzata, conosciuta come trasformazione di Helmert, è un caso particolare di trasformazione affine consistente in una rototraslazione nello spazio con fattore di scala, che può essere scritta nella seguente forma:

$$[X] = [T] + \lambda [R][x]$$

in cui X rappresenta il vettore delle coordinate del sistema di riferimento di arrivo (in questo caso ETRF2000), T è il vettore delle traslazioni nelle tre direzioni dello spazio, λ è il fattore di scala, R la matrice delle rotazioni intorno agli assi (R_x, R_y, R_z) ed infine x rappresenta il vettore delle coordinate nel sistema di riferimento di partenza (Roma40).

In particolare la matrice di rotazione si ottiene dalla sovrapposizione degli effetti delle tre rotazioni successive (in ordine $R_x \cdot R_y \cdot R_z$) che deve compiere la terna cartesiana del sistema ETRF, rispettivamente attorno agli assi X, Y, Z , per divenire parallela alla terna del sistema Roma40 (le rotazioni sono considerate positive se antiorarie per un osservatore il cui verso piedi-testa coincida con quello dell'asse).

Si ottiene pertanto la matrice:

$$\begin{pmatrix} \cos \phi \cos \kappa & -\cos \phi \sin \kappa & \sin \phi \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & -\sin \omega \cos \phi \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \phi \end{pmatrix}$$

e imponendo che i sistemi sono vicini, quindi angoli sono molto piccoli, e la scala trascurabile ($\lambda \cong 1$), allora il cambiamento di sistema di riferimento si può scrivere:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \lambda \cdot \begin{bmatrix} 1 & -k & \varphi \\ k & 1 & -\omega \\ -\varphi & \omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

ESERCITAZIONE 1

```

w = load('Punti_doppi.txt');
n = size(w,1);

% Componenti x
A(1:n,1) = ones (n,1);
A(1:n,2) = zeros(n,1);
A(1:n,3) = zeros(n,1);
A(1:n,4) = w( :,1);
A(1:n,5) = -w(:,2);
A(1:n,6) = w(:,3);
A(1:n,7) = zeros(n,1);
b(1:n,1) = w(:,4);

% Componenti y
A(n+1:2*n,1) = zeros (n,1);
A(n+1:2*n,2) = ones(n,1);
A(n+1:2*n,3) = zeros(n,1);
A(n+1:2*n,4) = w(:,2);
A(n+1:2*n,5) = w(:,1);
A(n+1:2*n,6) = zeros(n,1);
A(n+1:2*n,7) = -w(:,3);
b(n+1:2*n,1) = w(:,5);

% Componenti z
A(2*n+1:3*n,1) = zeros (n,1);
A(2*n+1:3*n,2) = zeros(n,1);
A(2*n+1:3*n,3) = ones(n,1);
A(2*n+1:3*n,4) = w(:,3);
A(2*n+1:3*n,5) = zeros(n,1);
A(2*n+1:3*n,6) = -w(:,1);
A(2*n+1:3*n,7) = w(:,2);
b(2*n+1:3*n,1) = w(:,6);

%vettore parametri
x = A\b;

%vettore degli scarti
sc = b - A*x;

%scarto quadratico
so = sqrt( sc'*sc/(3*n-7));

```

Con A è stata identificata la matrice disegno di dimensione 39×7 in quanto è stata costruita in sequenza prima per la coordinata x poi y ed infine z . Inoltre si è programmata la lettura, all'interno del file contenente i punti doppi delle stazioni, del termine noto b che corrisponde al valore di una certa coordinata nel sistema di riferimento finale ed ha la dimensione di un vettore colonna 39×1 .

In questo modo è stato possibile calcolare i valori dei parametri necessari per la trasformazione tramite il rapporto tra la matrice disegno ed il vettore dei termini noti.

Per il calcolo delle incognite si deve utilizzare la formulazione che viene fornita dallo studio ai minimi quadrati, cioè

$$x = N^{-1}A^T P b$$

in cui si trascura, in questa analisi, la matrice dei pesi P . Il calcolo dell'inversa della matrice normale che si ricava dalla matrice disegno A tramite la relazione

$$N = A^T P A$$

ESERCITAZIONE 1

Il programma può elaborare singoli punti oppure file con liste di coordinate, che possono essere file di georeferenziazione, dxf (di solo contenuto cartografico), o anche con un formato definito dall'utente.

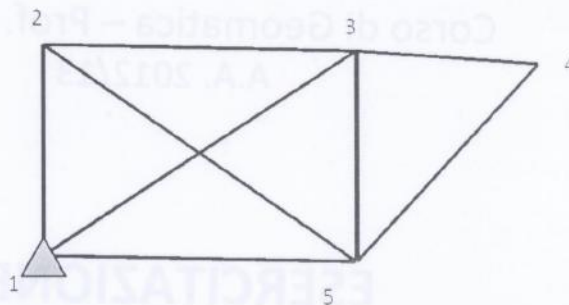
Se si volesse effettuare un confronto tra le trasformazioni di coordinate nei due sistemi di riferimento utilizzando il metodo dei minimi quadrati e successivamente il programma si otterrebbero due risultati diversi. Questo perché il cambiamento di datum non è una rototraslazione pura ed è per questo che si utilizzano i grigliati in modo da avere un adattamento più efficace della cartografia nella zona considerata.

ESERCITAZIONE 2

Le misure topografiche finalizzate all'istituzione di reti geodetiche di inquadramento devono tenere in conto di alcuni aspetti e modalità di esecuzione. In generale si pone il problema di osservare più grandezze contemporaneamente e spesso le misure non sono eseguibili direttamente. Per questo si devono prendere in considerazione gli errori accidentali che si possono commettere quando si eseguono questi tipi di operazioni e i legami esistenti tra grandezze note e incognite.

Lo scopo di questa esercitazione è quello di evidenziare, studiare e compensare gli errori che sono stati commessi nel rilievo della rete altimetrica di cui vengono forniti l'eidotipo e le misure dei dislivelli oltre che della quota del punto 1.

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 10 \text{ m} \\
 \Delta_{12} &= Q_2 - Q_1 = 100 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{23} &= Q_3 - Q_2 = 100 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{35} &= Q_5 - Q_3 = 100 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{51} &= Q_1 - Q_5 = -300.2 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{25} &= Q_5 - Q_2 = 200.2 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{34} &= Q_4 - Q_3 = 100 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{45} &= Q_5 - Q_4 = 0.5 \text{ m} \pm 1 \text{ cm} \\
 \Delta_{31} &= Q_1 - Q_3 = -200.1 \text{ m} \pm 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Per aumentare la precisione sono state effettuate misure ridondanti rispetto a quelle necessarie per risolvere il sistema e in modo da poter stimare l'affidabilità e la precisione raggiunta. Per risolvere il problema si utilizza il metodo dei minimi quadrati che è il più generale che permette di risolvere misure di qualsiasi grandezza e con qualunque condizione di vincolo.

Devono comunque essere prese delle precauzioni nell'eseguire il trattamento delle misure di campagna perché la compensazione con i minimi quadrati riguarda principalmente:

- Il condizionamento del sistema da risolvere;
- L'affidabilità della rete;
- La robustezza dello stimatore.

È necessario prima di tutto capire con quale precisione si dovranno effettuare le misure ed effettuare dei test per capire quanto la compensazione ai minimi quadrati sia deviata dalla presenza di errori nelle osservazioni.

MALCONDIZIONAMENTO

Considerando un dislivello tra due punti A (punto indietro) e B (punto avanti) misurati con operazioni di livellazione tramite l'equazione

$$\Delta_{AB} = Q_B - Q_A$$

con eventuali valori di correzione per valutare le differenze con valori iniziali nei casi di controllo di movimenti e deformazioni. Quindi il peso da assegnare ad ogni equazione dei dislivelli deriva dal modo in cui è stata effettuata la misura e dalla definizione di peso

ESERCITAZIONE 2

Estraendo la radice quadrata della diagonale della matrice di varianza-covarianza (che rappresenta le varianze) è possibile calcolare lo scarto quadratico medio che si ci può aspettare dall'esecuzione della misurazione con quella precisione.

$$smq = \begin{vmatrix} 0,007071 \\ 0,006892 \\ 0,009354 \\ 0,006892 \end{vmatrix}$$

Il problema del malcondizionamento che si deve ora affrontare riguarda la stima del fattore χ (numero di condizione). Infatti il problema può essere più che ridondante ma l'inversione della matrice normale risulta difficoltosa perché prossima alla singolarità. Questo dipende da come la rete è connessa tramite le misure. Se per esempio si dovessero stimare i parametri di un piano a partire dalle coordinate dei punti è chiaro che se o punti sono allineati il problema non ha soluzione. Tanto più si è vicini alla condizione di singolarità e tanto peggiore sarà la stima dei parametri che per piccole variazioni di valore portano a grandi variazioni degli errori.

Il numero di condizione si stima pertanto dal rapporto tra il massimo valore ricavato dalla somma delle righe della matrice normale e dalla matrice dei cofattori. Il suo valore numerico deve essere il più alto possibile, se tende a zero il sistema normale è malcondizionato mentre se è nullo allora il sistema è singolare.

N				$\Sigma N $	N^{-1}				ΣN^{-1}
3	-1	0	-1	5	0,5	0,25	0,25	0,25	1,25
-1	4	-1	-1	7	0,25	0,475	0,375	0,275	1,375
0	-1	2	-1	4	0,25	0,375	0,875	0,375	1,875
-1	-1	-1	4	7	0,25	0,275	0,375	0,475	1,375

$$\chi_{\infty} = \frac{\max_i \sum_j N_{ij}}{\max_i \sum_j N_{ij}^{-1}} = \frac{7}{1,875} = 3,73$$

AFFIDABILITA' INTERNA

La verifica della deviazione dei valori che in una modellazione ai minimi quadrati può essere causata dalla presenza di errori grossolani nelle osservazioni può essere molto complicata specialmente se si esaminano schemi complessi di misura (l'analisi ai minimi quadrati non è robusta, quindi un valore affetto da errore distorce la stima).

Si dice che un sistema è affidabile se è in grado di identificare i dati anomali nell'insieme delle osservazioni. Non è sufficiente valutare solamente la stima dei valori di lo residui per individuare errori grossolani perché la distribuzione degli scarti varia infatti per ogni osservazione. Nell'ipotesi di normalità questa dovrebbe essere a media nulla e varianza della singola osservazione σ_{vi}^2 . Si

ESERCITAZIONE 2

$$\tau_{\alpha/2} = \frac{\sqrt{v}t_{\alpha/2}}{\sqrt{v-1+t_{\alpha/2}^2}} \text{ e } \tau_{\beta} = \frac{\sqrt{v}t_{\beta}}{\sqrt{v-1+t_{\beta}^2}}$$

	0,500	0,250	0,000	0,250	0,250	0,000	0,000	0,250
	0,250	0,525	0,200	0,025	-0,275	0,100	0,100	0,225
	0,000	0,200	0,600	0,200	-0,200	-0,200	-0,200	-0,200
R =	0,250	0,025	0,200	0,525	0,225	0,100	0,100	-0,275
	0,250	-0,275	-0,200	0,225	0,525	-0,100	-0,100	0,025
	0,000	0,100	-0,200	0,100	-0,100	0,400	0,400	-0,100
	0,000	0,100	-0,200	0,100	-0,100	0,400	0,400	-0,100
	0,250	0,225	-0,200	-0,275	0,025	-0,100	-0,100	0,525

Ricordando, allora, che

$$w_i = \frac{v_i}{\sigma_{vi}} = \frac{r_i^i \Delta y_i}{\sqrt{r_i^i} \sigma_{vi}} = \frac{\sqrt{r_i^i} \Delta y_i}{\sigma_{vi}}$$

per cui

$$\Delta y_i = MDB = w_i \frac{\sigma(y_i)}{\sqrt{r_i^i}}$$

che identifica il Minimum Detectable Bias (Minimi Sistematismo Trovabile) o affidabilità interna. Il valore w_i è il parametro di non centralità calcolato con $\alpha = 1\%$ e $\beta = 10\%$ vale 4,75; $\sigma(y_i)$ è lo scarto quadratico medio della misura i-ma (0,01 m per tutte le misure) ed r è la ridondanza locale della misura i-ma pari a 0,4 (minimo valore sulla diagonale di R). Il valore ricavato dal rapporto $w_i/\sqrt{r_{ii}}$ è chiamato fattore di controllabilità. Infine MDB risulta pari a 0,075 m con lo scarto ipotizzato ed errore minimo rilevato con probabilità di $1-\beta$. In caso si dovessero eseguire delle stime anche in altri campi ingegneristici (ad esempio abbassamento in campata delle travi in ca di un edificio) non si potrebbe essere sicuri della stima fintanto che i valori misurati sono inferiori all'MDB calcolato, come si è visto, prima di eseguire le misure.

AFFIDABILITA' ESTERNA

Si chiama affidabilità esterna di una generica osservazione (o pseudo-osservazione) la quantità che influisce nella stima di un certo parametro, a seguito dell'immissione dello stesso effetto perturbativo che si era ipotizzato per l'affidabilità interna. Prendendo in considerazione la relazione

$$\hat{x} = (A^T P A)^{-1} A^T P (y_0 - a) = U (y_0 - a)$$

e

ESERCITAZIONE 2

$$x = \begin{pmatrix} 110,0250 \\ 210,0575 \\ 309,8875 \\ 310,2175 \end{pmatrix}$$

Dalla relazione

$$\hat{v} = A \hat{x} - l_0$$

Si ricava lo scarto tra le quote stimate e quelle osservate

$$v = \begin{pmatrix} 0,0250 \\ 0,0325 \\ 0,1600 \\ -0,0175 \\ -0,0075 \\ -0,1700 \\ -0,1700 \\ 0,0425 \end{pmatrix}$$

questa soluzione, ricavata con i minimi quadrati, possiede le tre proprietà fondamentali:

- Efficienza: rispetto a tutte le stime del parametro, la popolazione cui appartiene ha la varianza minima;
- Consistenza: al tendere all'infinito del numero n di elementi costituenti il campione utilizzato tende al valore teorico del parametro stimato;
- Non affetta da errore sistematico: la media della popolazione delle stime coincide con la media della popolazione da cui vengono estratti i campioni.

Per cui la relazione precedente rappresenta lo stimatore corretto dei parametri. A questo punto è necessario calcolare la varianza $\hat{\sigma}_0^2$ della compensazione, lo scarto quadratico medio $\hat{\sigma}_0$ e la matrice di varianza-covarianza delle osservazioni $C_{\hat{x}\hat{x}}$.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{v}^T \cdot \hat{v}}{n-r} = 0,0218$$

essendo \hat{v} il vettore degli scarti misurati e n il numero delle equazioni (8) e r il numero delle incognite (4). Ancora

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\hat{\sigma}_0^2} = \pm 0,1477$$

e infine la matrice di varianza-covarianza, con le relazioni già viste precedentemente

$$C_{\hat{x}\hat{x}} = \begin{pmatrix} 0,0109 & 0,0055 & 0,0055 & 0,0055 \\ 0,0055 & 0,0104 & 0,0082 & 0,0060 \\ 0,0055 & 0,0082 & 0,0191 & 0,0082 \\ 0,0055 & 0,0060 & 0,0082 & 0,0104 \end{pmatrix}$$

ESERCITAZIONE 2

Tavola dei quantili $\chi^2_{\alpha}(n)$ della legge chi-quadrato.

$P(Y < \chi^2_{\alpha}(n)) = \alpha$ con $Y \sim \chi^2(n)$

	0.01	0.025	0.05	0.95	0.975	0.99
1	0.0002	0.0010	0.0039	3.8415	5.0239	6.6349
2	0.0201	0.0506	0.1026	5.9915	7.3778	9.2103
3	0.1148	0.2158	0.3518	7.8147	9.3484	11.3449
4	0.2971	0.4844	0.7107	9.4877	11.1433	13.2767
5	0.5543	0.8512	1.1453	11.0705	12.8325	15.0863
6	0.8721	1.2373	1.6354	12.5916	14.4494	16.8119
7	1.2390	1.6809	2.1673	14.0671	16.0128	18.4753
8	1.6465	2.1797	2.7326	15.5073	17.5345	20.0902
9	2.0879	2.7004	3.3251	16.9190	19.0228	21.6660
10	2.5582	3.2470	3.9403	18.3070	20.4832	23.2093
11	3.0535	3.8157	4.5748	19.6751	21.9200	24.7250
12	3.5706	4.4038	5.2260	21.0261	23.3367	26.2170
13	4.1069	5.0088	5.8919	22.3620	24.7356	27.6882
14	4.6604	5.6287	6.5706	23.6848	26.1189	29.1412
15	5.2293	6.2621	7.2609	24.9958	27.4884	30.5779
16	5.8122	6.9077	7.9616	26.2962	28.8454	31.9999
17	6.4078	7.5642	8.6718	27.5871	30.1910	33.4087
18	7.0149	8.2307	9.3905	28.8693	31.5264	34.8053
19	7.6327	8.9065	10.1170	30.1435	32.8523	36.1909
20	8.2604	9.5908	10.8508	31.4104	34.1696	37.5662
21	8.8972	10.2829	11.5913	32.6706	35.4789	38.9322
22	9.5425	10.9823	12.3380	33.9244	36.7807	40.2894
23	10.1957	11.6886	13.0905	35.1725	38.0756	41.6384
24	10.8564	12.4012	13.8484	36.4150	39.3641	42.9798
25	11.5240	13.1197	14.6114	37.6525	40.6465	44.3141

Che per v pari a 4 ($n-r$) ed una distribuzione di χ^2 valutata a 0,5 e 0,95 si ottengono dei valori dalla tabella di

$$0,71 < \chi^2_4 < 9,49$$

Il valore di χ^2 nell'analisi vale

$$\chi^2_4 = (n - r) \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} = 4 \cdot \left(\frac{0,1477}{0,01}\right)^2 = 872,61 > 9,49$$

Siccome il valore calcolato fuoriesce dai due valori limite allora l'ipotesi per cui $\hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2$ deve essere scartata. Ipotizzando invece uno scarto pari a 10 cm invece il valore calcolato diviene 8,72 rientrando nei parametri. Questo non altera la stima dei parametri ma solo quella della matrice di varianza-covarianza dei parametri e degli scarti.

$$\text{sqm}_{\text{corr}} = \begin{vmatrix} 0,0707 \\ 0,0689 \\ 0,0935 \\ 0,0689 \end{vmatrix}$$

2. Test sugli scarti normalizzati (Thomson modificato)

La prima ipotesi degli scarti è quella di valori che seguono una distribuzione normale è possibile testare il rapporto con gli scarti quadratici medi a priori (0,1 m), ottenendo

Bertone Luca
Fantini Paolo

Politecnico di Torino

Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Corso di Geomatica – Prof. Manzino

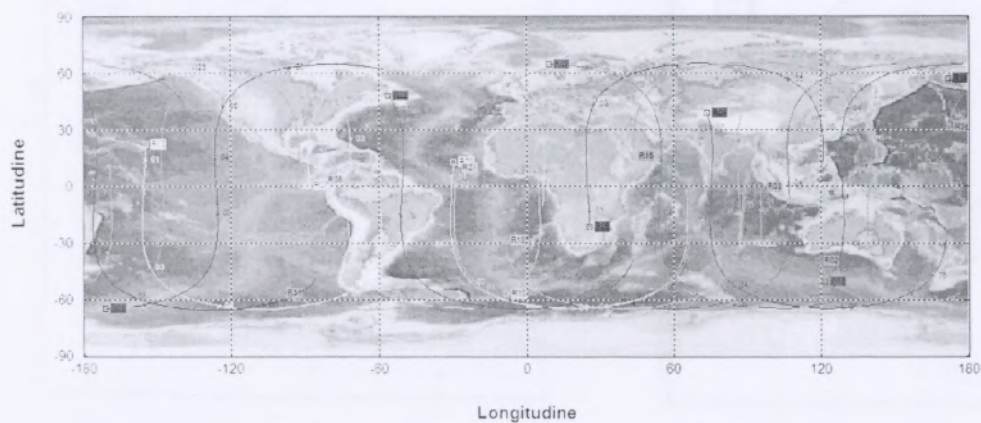
A.A. 2012/13

ESERCITAZIONE 3

Planning e Stima indici DOP



Proiezione Mondiale



ESERCITAZIONE 3

VISIBILITA'

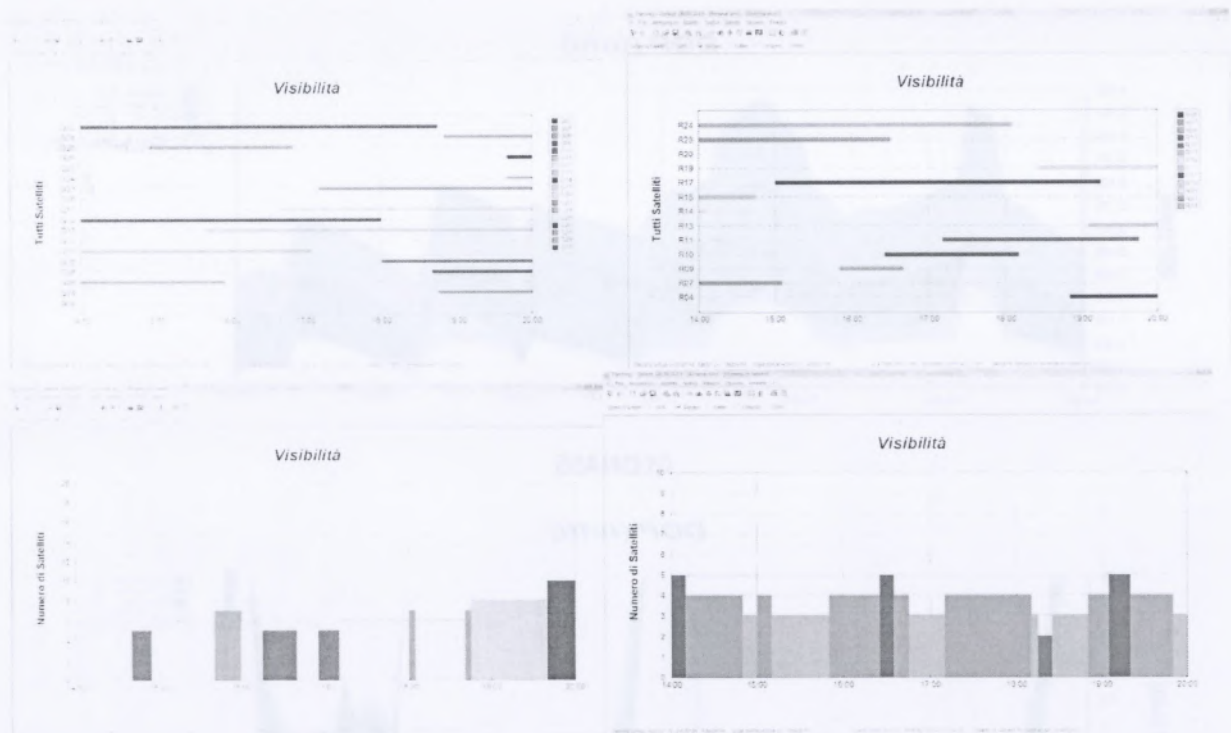
Si nota subito come il numero di satelliti GPS visibili al momento della rilevazione risulti essere più elevato di quelli GLONASS in quanto il sistema americano dispone di 24 elementi in orbita di cui 18 operativi e 6 di sicurezza rispetto a quello russo che ne ha 14 contemporaneamente visibili all'orizzonte. L'importanza della visibilità comporta la buona riuscita del rilievo in quanto per avere una precisione elevata c'è bisogno che la campagna dei punti avvenga in modo continuo e che siano sempre visibili almeno:

- > 4 satelliti nel caso si consideri la sola costellazione GPS (incognite X_p, Y_p, Z_p e δt),
- > 6 meglio 7 nel caso di campagna fatta con costellazione GPS + GLONASS (in quanto ho 4 incognite dei GPS, cambio di sistema di riferimento tra satelliti GPS e GLONASS e in ultimo il clock dei GLONASS).

Vanno considerati utili solo i satelliti visibili con angolo di elevazione sull'orizzontale superiore ad una certa soglia (15-20 gradi) quelli con elevazione minore comportano segnale disturbato dall'eccessivo spessore dell'atmosfera.

GPS

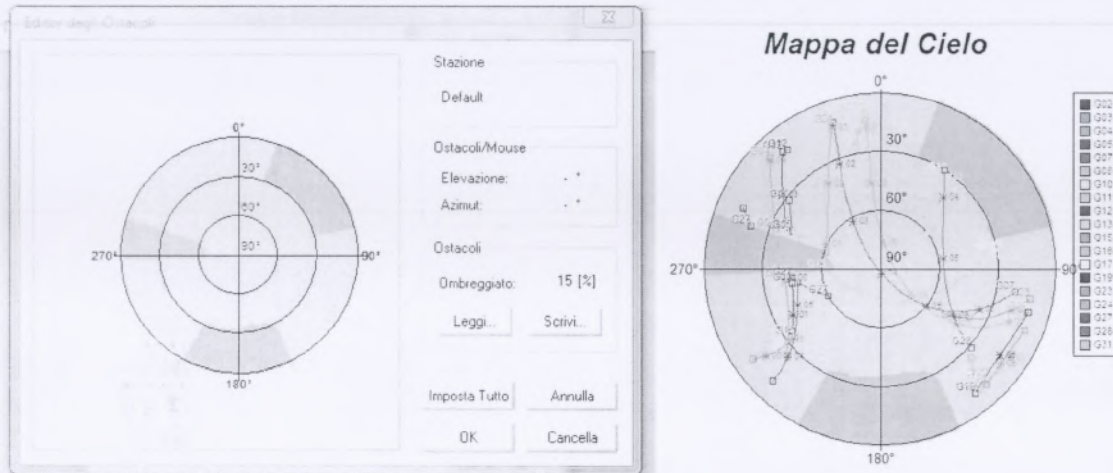
GLONASS



ESERCITAZIONE 3

PRESENZA DI OSTACOLI

La presenza degli ostacoli durante la fase di rilevazione sono da non sottovalutare in quanto comportano la non visibilità di un numero più o meno elevato di satelliti in funzione delle dimensioni dello ostacolo. Il programma Trimble Planning consente di inserire la presenza di ostacoli indicando elevazione e angolo di ingombro e quindi in automatico elimina tutti quei satelliti non visibili come si vede di seguito:



In definitiva si sono ricavati gli indici DOP relativi ad una data epoca:

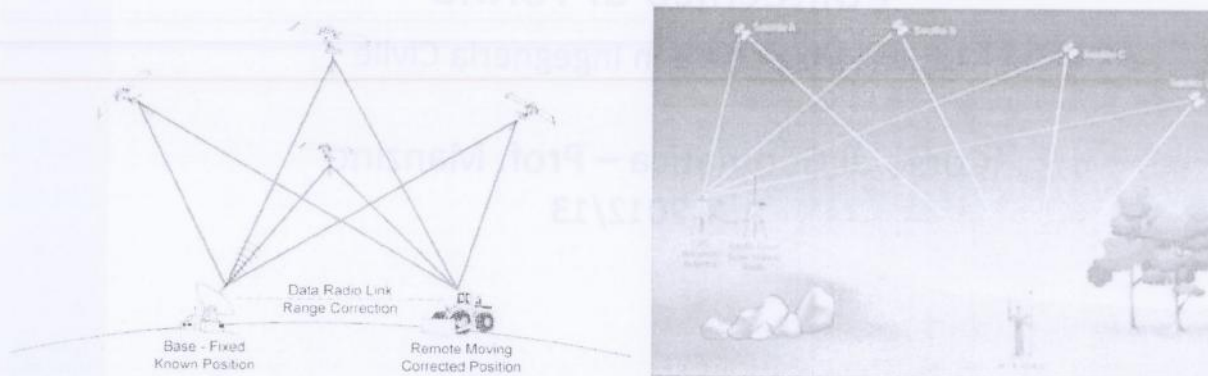
GDOP	1.7805
PDOP	1.6009
HDOP	0.9586
VDOP	1.2485
TDOP	0.8521

ESERCITAZIONE 4

Gli obiettivi della seguente esercitazione sono:

- Trattamento dei dati GNSS rilevati nella piazza del Fante tramite dispositivi GPS,
- Georeferenziazione dei dati del Laser Scanner.

1. TRATTAMENTO DEI DATI GPS



Sono state eseguite delle misure di posizionamento in modalità statica; si è cioè utilizzata una singola base (rover) prendendo come riferimento la stazione GPS più vicina, ovvero quella posizionata sopra l'ingresso del Politecnico (master). L'obiettivo è quello di confrontare le coordinate acquisite, con quelle della monografia di partenza per capire la precisione che si riesce ad ottenere.

Si è poi fatta una visualizzazione di dati GPS, tramite un posizionamento NRTK. Le coordinate erano già state caricate nel ricevitore e, seguendo le indicazioni fornite dallo stesso, si è posizionato lo strumento valutandone anche in questo caso la precisione.

Per l'esercitazione si è usato il programma LEICA GEO OFFICE. Dopo aver aperto il programma si imposta l'ora (GMT+ 1). In una cartella erano presenti i dati della stazione di base, le effemeridi GPS e Glonass, ed i dati dei nostri rilevamenti ("Leica 3" e "Leica 4").

Si crea un nuovo progetto "--> project" e si importano i dati "--> import raw data" facendo attenzione a selezionare "rhinex file" nell'indicazione del formato. Si configurano i parametri di processamento del GPS "strategy frequency--> automatic" ed a questo punto il programma è riuscito a fissare l'ambiguità di fase, infatti si legge l'indicazione "fixed". Dal menù che compare cliccando col tasto destro, selezionando "store" si vedono tutti i dati, anche della matrice varianza-covarianza. Sull'etichetta "points" si possono vedere tutti i punti con ambiguità fissata, si vede lo scarto quadratico medio e si può decidere di eliminare quelli meno precisi.

Per concludere si osserva che la precisione del rilievo statico è inferiore al centimetro mentre con l'RTK si va ben oltre il centimetro. A seconda delle necessità di impiego, e quindi della precisione richiesta, si valuterà quale strumento faccia al caso nostro, considerando anche la differenza di prezzo tra i due dispositivi.

ESERCITAZIONE 4

nuvola di punti. Essendo il laser ad elevata precisione, in poco più di cinque minuti si sono rilevati più di 2G di punti.

Il programma utilizzato per l'esercitazione è SCENE_LT. Questo permette di visualizzare il modello, ma la versione demo non ne permette la georeferenziazione.

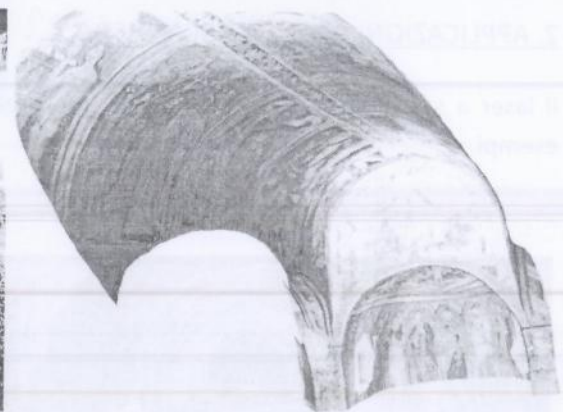
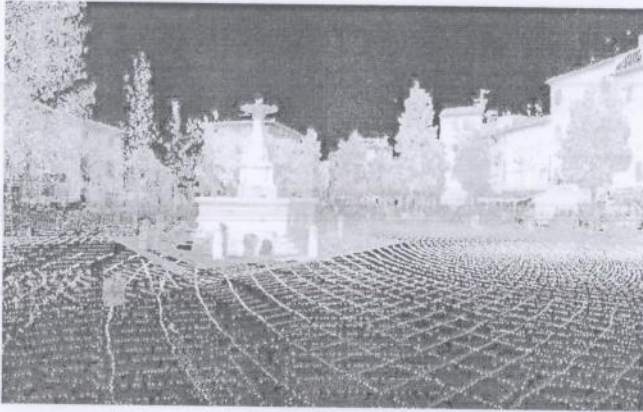
Dopo aver inserito le coordinate dei marker riesco ad ottenere una visualizzazione, anche tridimensionale, del nostro rilievo nel sistema di riferimento voluto. Laddove abbiamo un cono buio, ovvero non è stato rilevato nessun punto e ci compaiono dei cerchi grigi, vi è collocato il laser scanner. Vi si può anche associare un'informazione colorimetrica, ovvero si "spalmano" sul modello le foto che erano anche state acquisite dal laser. Sul modello così ottenuto si possono anche fare delle misure, come la lunghezza e l'altezza di una finestra ad esempio. In sostanza si hanno misure distanziometriche, radiometriche e colorimetriche.

Sfruttando la radiometria si vede che il centro dell'obiettivo delle stazioni totali, così come il prisma posizionato nel punto fisso, risplendono molto, ovvero sono totalmente riflettenti, e quindi appaiono bianchi. In prossimità delle finestre si vede che il fascio laser riesce ad oltrepassare il vetro e a rilevare gli oggetti all'interno. Questo comporta un'errata rilevazione della superficie e nelle misure di distanza si rischia di selezionare un punto che non solo non è di nostro interesse, ma le cui coordinate sono del tutto diverse da quelle attese. Effettuare misurazioni di distanze sul modello radiometrico riduce questo genere di errori che invece sono più facili da commettere lavorando sul modello colorimetrico.

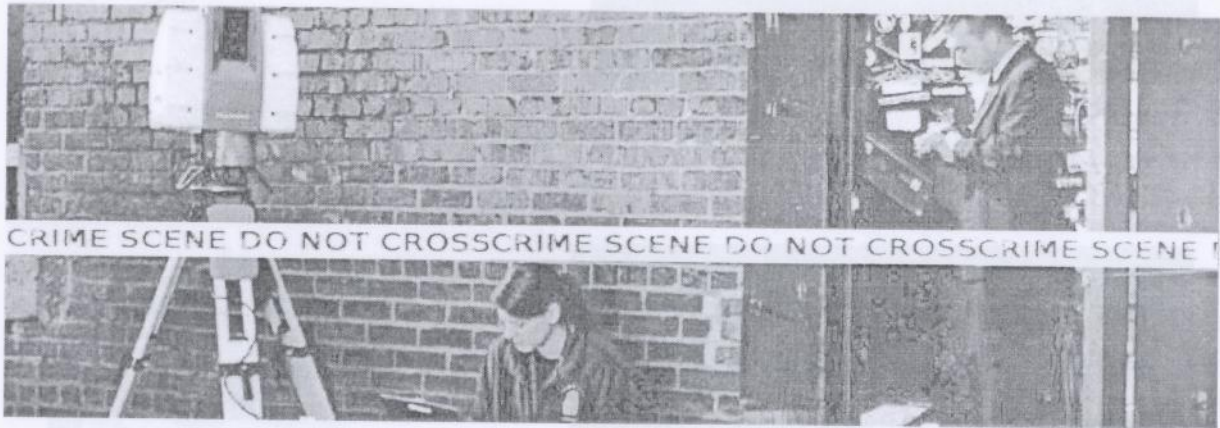
I pregi derivanti dall'utilizzo del laser scanner sono il fatto di acquisire una visuale tridimensionale del rilievo e avere a disposizione miliardi di punti. I difetti e le criticità sono legati alla gestione di questa grande mole di punti ed al fatto che a volte si è costretti a sifoltire i dati se serve una risoluzione minore di quella rilevata. Inoltre non rileva punti di nostro interesse come le discontinuità ma magari acquisisce il punto subito sopra o subito sotto. Ci sono delle tecniche automatiche che riescono a distinguere gli spigoli dalla nuvola di punti anche se questi non sono stati direttamente rilevati.

Quando si fa un rilievo bisogna sempre capire il tempo a disposizione e la precisione richiesta, in quanto se si vogliono solo misurare le dimensioni di una finestra, non sono necessari 2G di dati ma sarà sufficiente un rilievo tramite stazione totale.

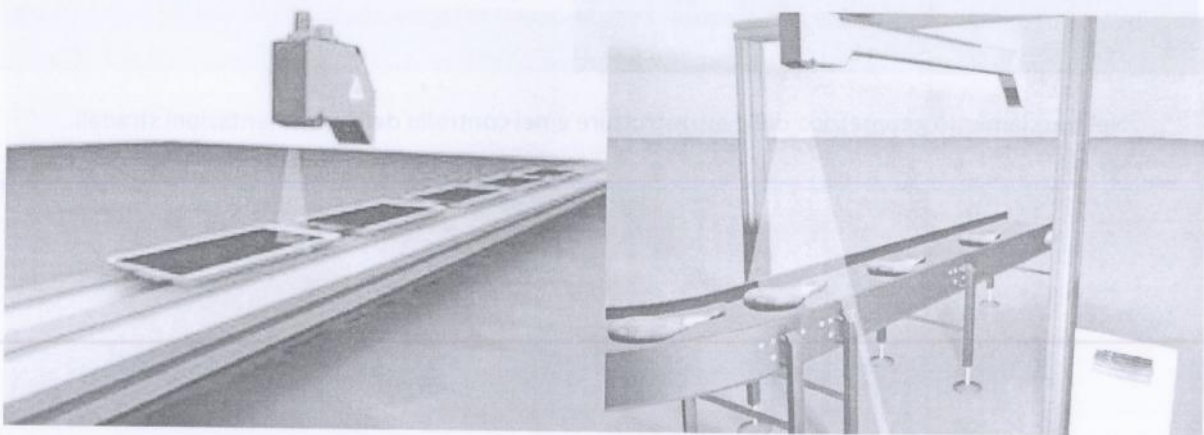
ESERCITAZIONE 4



Nel rilievo architettonico e delle opere d'arte.



Nelle investigazioni per mappare ed avere un modello virtuale molto dettagliato della scena del crimine.



Nell'industria per controllare la finitura delle superfici di tablet e smartphone e per valutare il volume degli alimenti.

ESERCITAZIONE 5

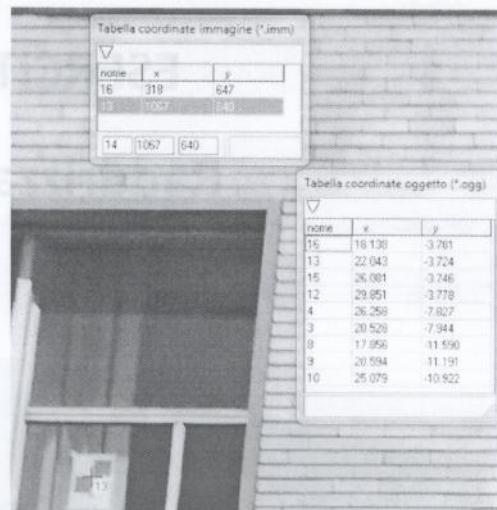
Si vuole procedere al trattamento delle fotografie che sono state scattate con fotocamera ad obiettivo calibrato nel cortile interno del Politecnico durante le precedenti esercitazioni.

Per la seguente è stato utilizzato il software RDF che realizza il raddrizzamento di immagini digitali di oggetti piani o che possono essere considerati tali. La trasformazione proiettiva può essere eseguita per via analitica (calcolo dei parametri con il metodo dei minimi quadrati) o per via geometrica. Sono stati utilizzati entrambi i metodi di trasformazione.

1. METODO DI RADDRIZZAMENTO ANALITICO

La procedura che si è seguita per operare il raddrizzamento consiste nell'aprire l'immagine 0013_pt, una volta caricata l'immagine che si vuole raddrizzare si deve procedere all'inserimento delle coordinate oggetto (coordinate piane dei marker) e delle coordinate immagine (tramite selezione dei marker direttamente sull'immagine caricata). Nel nostro caso la griglia delle finestre sulla quale vi erano i marker era disposta nel seguente ordine:

16	13	15	14	
	3	4		
8		10	9	



Le coordinate oggetto sono fornite nel file Excel contenuto nella cartella dell'esercitazione e vanno inserite nel programma o manualmente o caricando un file .ogg opportunamente costruito. Nel nostro caso si sono riportate manualmente in una tabella. Inoltre le coordinate sono relative alla stazione 110 che era collocata sul tetto dell'edificio quindi le Y sono negative in quanto i marker erano al di sotto di quest'ultima. Note queste si sono individuate sulla Figura le coordinate dei marker procedendo nel seguente modo: "menù --> tabelle --> coordinate immagine --> visualizza" --> nella nuova tabella si è definito "inizio collimazione" che ha permesso di definire per ogni marker l'ID, la coordinata x e y individuate sul disegno. Una volta individuate e registrate (tramite "registra punto") i set di coordinate relative agli elementi collocati sulle finestre si sono dovuti associare i due sistemi di coordinate oggetto e immagine attraverso la creazione della tabella unione: "menù --> tabella --> unioni --> visualizza --> crea file flot".

ESERCITAZIONE 5

Le coordinate non sono georeferenziate quindi se si volesse georeferenziare il sistema, una volta effettuato il raddrizzamento, si può creare un file di georeferenziazione da associare all'immagine.

2. METODO DI RADDRIZZAMENTO GEOMETRICO

Questo metodo è più veloce di quello analitico in quanto permette di raddrizzare l'immagine attraverso punti di fuga, tracciando rette orizzontali e verticali, ed inoltre è meno preciso.

La procedura che si è seguita per operare il raddrizzamento consiste nell'aprire l'immagine 0013_pt, tracciare su di essa linee orizzontali (da sinistra verso destra) e linee verticali (dal basso verso l'alto) prendendo come riferimento i davanzali e i bordi delle finestre. Sono state prese molte linee orizzontali e verticali in quanto il software utilizza i minimi quadrati per l'elaborazione e quindi permette di avere una precisione più elevata.

Dopodiché si è proceduto attraverso il menù a tendina a definire "calcolo punti di fuga e calcolo parametri", "area di ricampionamento" e spuntando l'interpolazione bilineare si può definire "RDF" (inserendo grandezze reali nella casella oggetto --> si definisce misura reale della larghezza finestra e poi si traccia sul disegno questo lo si fa anche per l'altezza). Per ottenere il raddrizzamento si è andati a definire come valore in metri di un pixel quello pari alla metà dell'errore di graficismo ovvero $\text{pixel(m)} = 0,01$. Infine cliccando su RDF viene sviluppata l'immagine corretta.

Questo metodo prevede solo due misure sull'oggetto (altezza e larghezza).



IMMAGINE 0013_PT – ORIGINALE



IMMAGINE 0013_PT – CON RDF GEOMETRICO

Entrambi i casi analizzati sono stati effettuati usando un'immagine iniziale che era già stata trattata con PTLens, un programma che ha permesso di eliminare le aberrazioni radiali quindi l'utilizzo del raddrizzamento RDF denota errori residui più piccoli. Questo è dovuto al fatto che le distorsioni radiali possono trattarle con polinomi, quindi se limito il raddrizzamento alla zona centrale dell'obiettivo allora ottengo una linearizzazione di queste deformazioni con errori conseguenti molto più piccoli.

ESERCITAZIONE 5



IMMAGINE 0013 – ORIGINALE

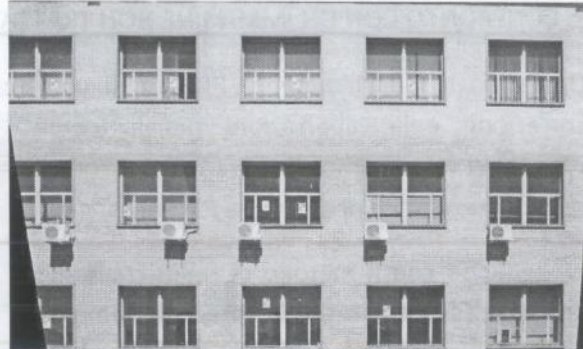


IMMAGINE 0013 – CON RDF ANALITICO

4. CAM SCANNER

Una curiosa applicazione del raddrizzamento è senz'altro l'app CamScanner per s.o. Android. Ideata per trasformare foto di documenti in file pdf, dopo aver scattato la foto chiede di selezionare un'area di ritaglio e successivamente effettua un raddrizzamento dell'immagine, rendendo piani anche dei documenti che erano stati fotografati non perpendicolarmente. Provando a fare una fotografia della facciata in esame con il cellulare, e successivamente raddrizzando l'immagine si ottiene un risultato qualitativamente molto buono come mostrato in Figura.

