

**RICHIAMI SUL TRASFERIMENTO TRA
SISTEMI DI COORDINATE GLOBALI
(ECEF – Geografiche)**

- ◆ Trasformare le seguenti coordinate in ECEF
- ◆ lat= 40.823437 deg
- ◆ long=14.216142 deg
- ◆ h=122.659 m

SOLUZIONE

$X_o = 4.685503934773367e+06$ m
 $Y_o = 1.187019439399513e+06$ m
 $Z_o = 4.147685462840436e+06$ m

ECEF2GEO

- ◆ da ECEF (X;Y;Z) a geografiche (φ ; λ ; h) - Formule di Bowring

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z + e^2 \cdot b \cdot \sin^3\psi}{\rho - e^2 \cdot a \cdot \cos^3\psi}\right)$$

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right)$$

a = raggio equatoriale

b = raggio polare

e = eccentricità prima

e' = eccentricità seconda

N = raggio di curvatura della sezione in primo verticale (gran normale)

φ = latitudine

λ = longitudine

h = altitudine

ψ = latitudine ridotta

Dove: $\rho = \sqrt{X^2 + Y^2}$

$$\tan\psi = \frac{Z}{\rho\sqrt{1 - e^2}}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2\varphi}}$$

ROTAZIONE INTORNO AGLI ASSI DI UN SISTEMA DI RIFERIMENTO

- ◆ Scrivere una function MATLAB che costruisca matrici di rotazione



Matrici di Rotazione Elementari

$$R_x^{or}(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$R_x^{anti}(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$R_y^{or}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$R_y^{anti}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$

$$R_z^{or}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_z^{anti}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Nomenclatura:

R_i matrice di rotazione intorno all'asse i

R^j matrice di rotazione di verso j (oraria o antioraria)

$R(\alpha)$ matrice di rotazione di angolo α

Nomenclatura alternativa:

R_i matrice di rotazione intorno all'asse i

$R(\alpha)$ matrice di rotazione di angolo α antioraria

$R(-\alpha)$ matrice di rotazione di angolo α oraria

Esempio Matrici di Rotazione

- ◆ Visualizzare a schermo la matrice relativa a una rotazione antioraria intorno all'asse z di un angolo pari a 30°
- ◆ `R=matrix_rot(30, 'A', 'z')`

```
R =  
  
0.866025403784439 -0.500000000000000 0  
0.500000000000000 0.866025403784439 0  
0 0 1.000000000000000
```

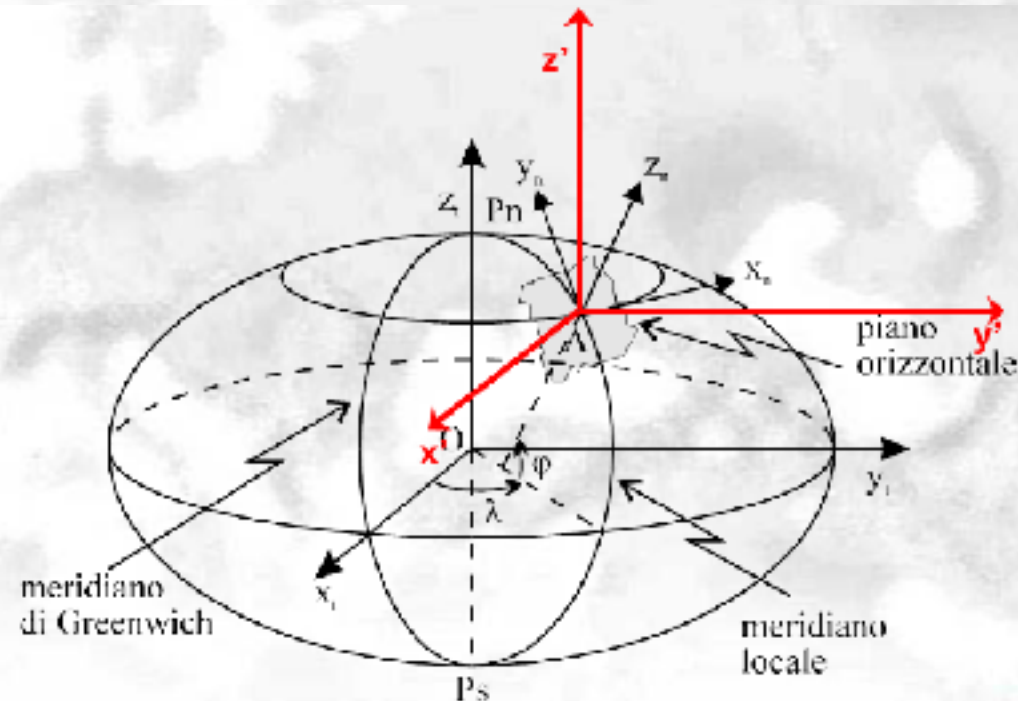

Trasformazioni tra sistemi di riferimento in navigazione

ECEF2ENU

Step I: Traslazione

Si trasformano le coordinate ECEF da geocentriche a centrate nell'osservatore (origine del sistema ENU)

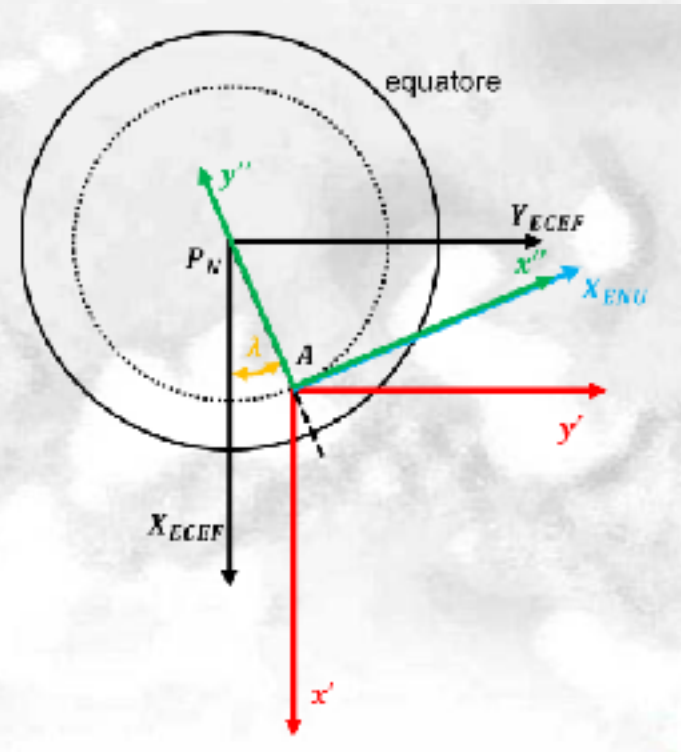
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{ECEF} \\ Y_{ECEF} \\ Z_{ECEF} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$$



Step II: Rotazione

Dalla terna $Ax'y'z'$ si passa alla terna $Ax''y''z''$ con asse x'' allineato all'asse X_{ENU}

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = R_x([90^\circ + \lambda]) \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(90^\circ + \lambda) & \sin(90^\circ + \lambda) & 0 \\ -\sin(90^\circ + \lambda) & \cos(90^\circ + \lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

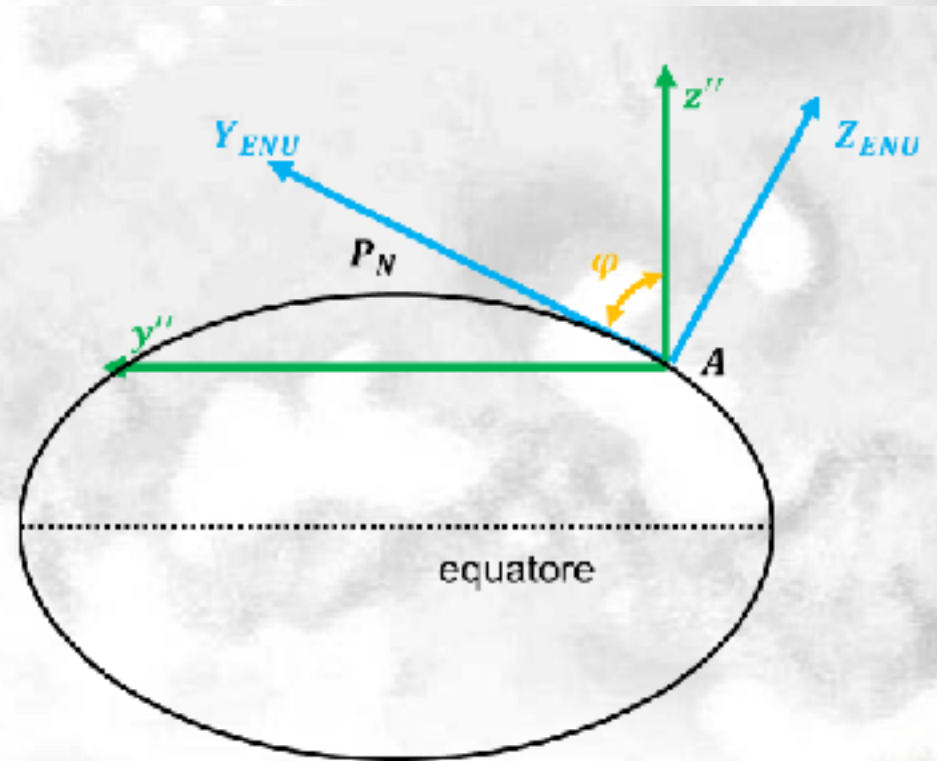


ECEF2ENU

Step III: Rotazione

Dalla terna Ax''y''z'' si passa alla terna ENU

$$\begin{pmatrix} X_{ENU} \\ Y_{ENU} \\ Z_{ENU} \end{pmatrix} = R_x([90^\circ - \varphi]) \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} =$$
$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(90^\circ - \varphi) & \sin(90^\circ - \varphi) \\ 0 & -\sin(90^\circ - \varphi) & \cos(90^\circ - \varphi) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix}$$



RIASSUMENDO I 3 passaggi:

ECEF e ENU

$$C_r'' = R_x(90^\circ - \varphi) R_z(90^\circ + \lambda)$$

- ◆ Scrivere due function MATLAB per la trasformazione tra i sistemi ECEF ed ENU



Problema 1

◆ Passaggio dal sistema ECEF a ENU per un satellite

- Coordinate ECEF del satellite

$X = 24278726.1145 \text{ m}$

$Y = 10643584.5949 \text{ m}$

$Z = 2413179.8027 \text{ m}$

- Coordinate osservatore

latitudine = $9^\circ 2' 6.48241''$

longitudine = $38^\circ 45' 58.68596''$

quota = 2439.154 m

Ris:

$E = -6.903140503043463e+06 \text{ m}$

$N = 2.427872611450000e+07 \text{ m}$

$U = 1.927605121453022e+07 \text{ m}$

ENU2ECEF

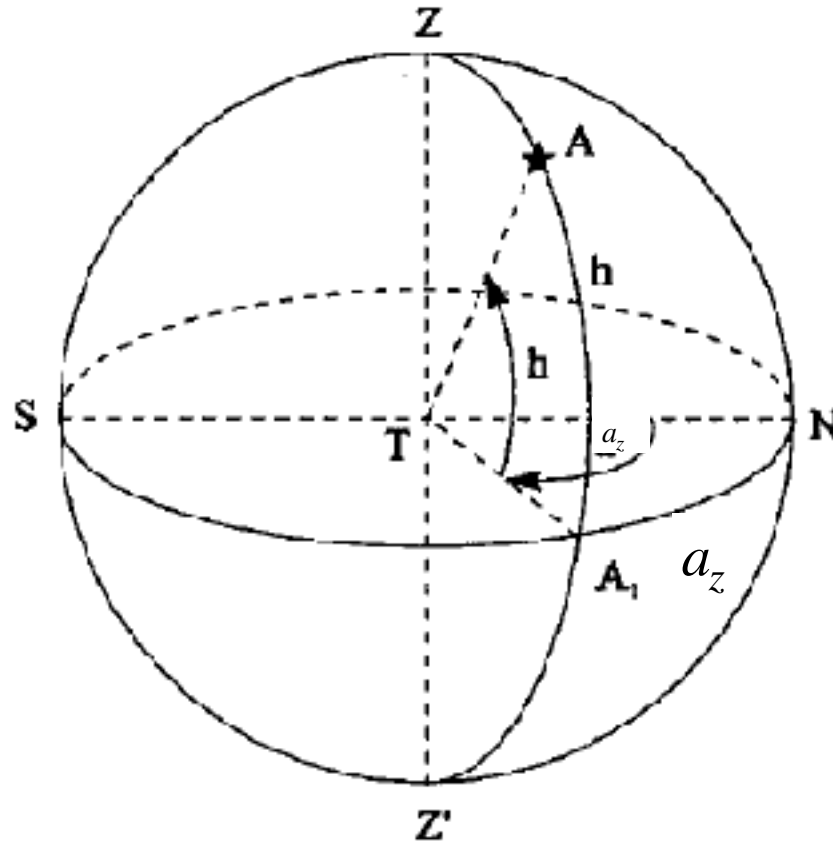
ENU e ECEF



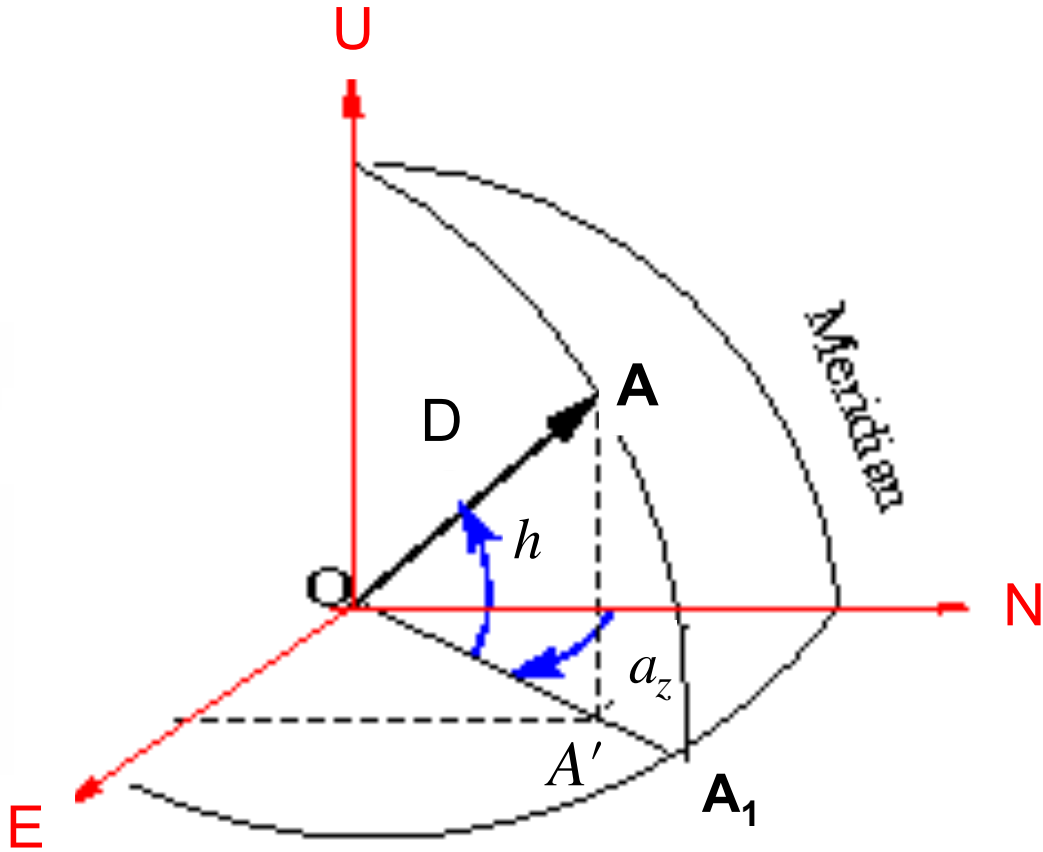
**RICHIAMI SUL TRASFERIMENTO TRA
SISTEMI DI COORDINATE LOCALI
(ENU – Altazimutali)**

Trasformazione ENU-altazimutali

- ◆ Sistema di coordinate altazimutali



Trasformazione ENU-altazimutali



$$OA' = D \cos h$$



$$E = D \cos h \sin a_z$$

$$N = D \cos h \cos a_z$$

$$U = D \sin h$$

* N.B.

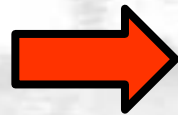
D rappresenta la distanza euclidea Osservatore (ovvero centro del sistema ENU) oggetto osservato A

Trasformazione ENU - Altazimutali

$$E = D \cos h \sin a_z$$

$$N = D \cos h \cos a_z$$

$$U = D \sin h$$



$$D = \sqrt{E^2 + N^2 + U^2}$$

$$h = \arctan \frac{U}{\sqrt{E^2 + N^2}}$$

$$a_z = \arctan \frac{E}{N}$$

ATAN2

- ◆ Scrivere due function MATLAB per la trasformazione tra i sistemi ENU ed altazimutale



Problema 2

- ◆ Per un osservatore posto nella seguente località :
 - Latitudine: $9^{\circ}02' 06.48241''$ N
 - Longitudine: $38^{\circ}45' 58.68596''$ E
 - Quota: 2439.154 m
- ◆ Determinare le coordinate Altazimutali dei satelliti (SV) GPS di cui in tabella sono fornite le coordinate ECEF

PRN	X_ecef	Y_ecef	Z_ecef
10	24278726,1145	10643584,5949	2413179,8027
14	15203992,6506	3761693,9278	-21210323,0664
15	-4853977,5525	22157546,6027	13353227,6668
16	21149742,4145	-1949701,7716	16089462,3702
18	17859387,4572	15706093,8144	12612199,3789
21	9700577,4641	12842040,5091	21907074,7626
25	10469168,7759	16785875,5221	-17961597,6017
26	25338566,7361	3607567,9893	7259219,0259
29	4896675,6380	25968817,8199	2833365,4365
31	21191228,0451	-2579386,9059	-15972219,4172
32	15000746,7135	12842201,3259	-17770504,2854

Suggerimenti

1. trasformazione in coordinate ENU per l'osservatore
2. trasformazione in coordinate altazimutali.

Soluzione Problema 2

PRN	X_ecef	Y_ecef	Z_ecef	Passaggio Intermedio			Soluzioni	
				Es	Ns	Us	h	az
10	24278726,1145	10643584,5949	2413179,8027	-6903140,5048	-1629535,0586	19276051,2139	69,7983	-103,2819
14	15203992,6506	3761693,9278	-21210323,0664	-6586892,4134	-23172069,9749	4322781,6408	10,1730	-164,1317
15	-4853977,5525	22157546,6027	13353227,6668	20315675,5387	11609762,7252	5680925,6642	13,6465	60,2534
16	21149742,4145	-1949701,7716	16089462,3702	-14763007,4888	13498481,0686	11226969,0041	29,3029	-47,5619
18	17859387,4572	15706093,8144	12612199,3789	1063569,1294	8731158,2221	19065145,8875	65,2338	6,9452
21	9700577,4641	12842040,5091	21907074,7626	3939049,3755	19191333,8275	12471207,0118	32,4794	11,5990
25	10469168,7759	16785875,5221	-17961597,6017	6532832,7722	-20664564,4334	9240840,9618	23,0926	162,4563
26	25338566,7361	3607567,9893	7259219,0259	-13052781,7023	3718454,2173	16502279,0860	50,5648	-74,0989
29	4896675,6380	25968817,8199	2833365,4365	17182021,9314	-348253,7233	13893999,6907	38,9545	91,1611
31	21191228,0451	-2579386,9059	-15972219,4172	-15279953,0303	-18108549,5282	5834562,5264	13,8338	-139,8424
32	15000746,7135	12842201,3259	-17770504,2854	620498,5006	-20642930,7658	10321635,5178	26,5551	178,2783