

Tècniques per a la detecció i seguiment de moviments del terreny

Josep A. Gili (j.gili@upc.edu)



Universitat Politècnica de Catalunya,
Departament Enginyeria Civil i Ambiental

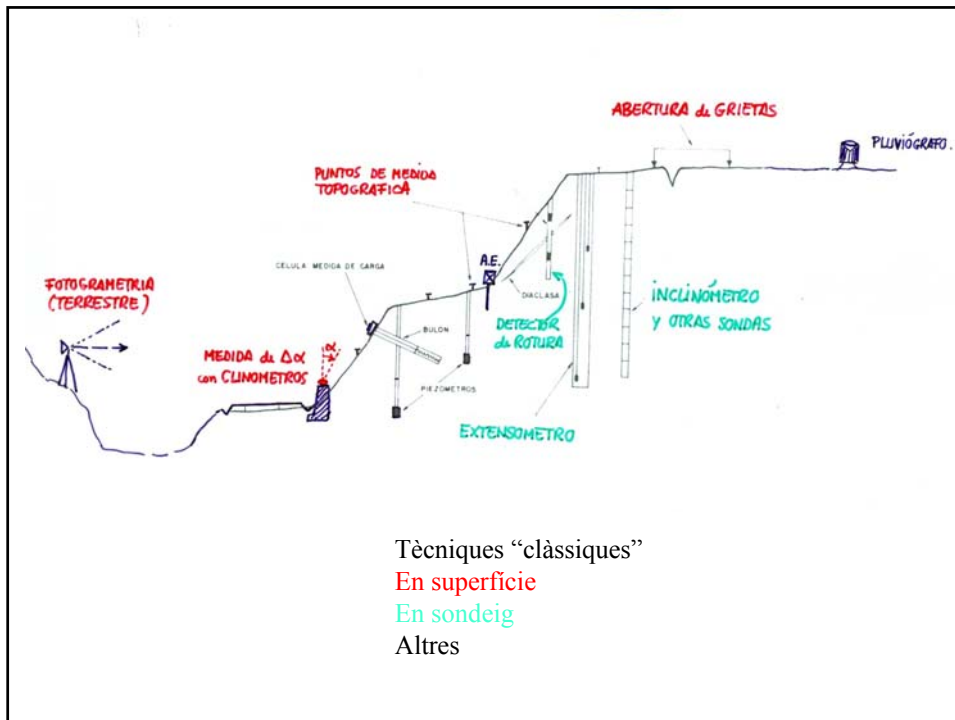


Jornada 27/01/2017 al ICGC Barcelona

Monitorització del terreny com a eina de gestió del risc i presentació del Projecte Europeu Wi-GIM, a l'ICGC Barcelona

Index

- Tècniques “clàssiques”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “recents”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals



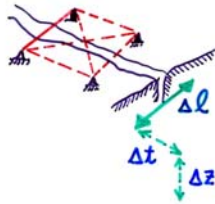
Taula resum de tècniques "en superfície"

Tabla 1. Métodos para la medida de desplazamientos "en superficie" y su precisión

Método	Resultado	Rango típico	Precisión típica
Cintas metálicas	Δ distancia	< 30 m	0,5mm/30m
Extensómetros cable	Δ distancia	<10-80 m	0,3 mm/30 m
Reglas apertura grietas	Δ distancia	< 5 m	0,5 mm
Desviación de l visual	$\Delta H, \Delta V$	< 100 m	0,5-3 mm
Triangulación	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	<300-1000 m	5-20 mm
Poligonación	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable	5-20 mm
Nivelación geométrica	ΔZ	Variable	2-5 mm/ Km
Nivelación Geom.Precisión	ΔZ	Variable	0,2-1 mm/Km
Med.Electrónica Distancias	Δ distancia	Variable(usual 1 a 14 Km)	1±5mm + 1±5 ppm
Fotogrametría Terrestre	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Idealmente < 100 m	20mm desde 100m
Fotogrametría Aérea	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	H vuelo < 500 m	10 cm
Clinómetros	$\Delta\alpha$	$\pm 10^\circ$	0,01° - 0,1 °
GPS	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	Variable (usual < 20 Km)	5±10mm + 1±2 ppm

Met. Topogràfics

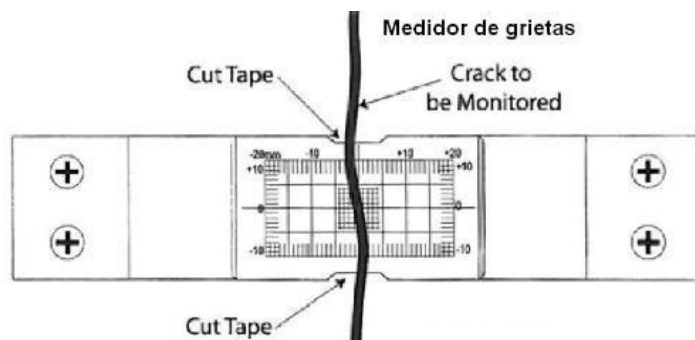
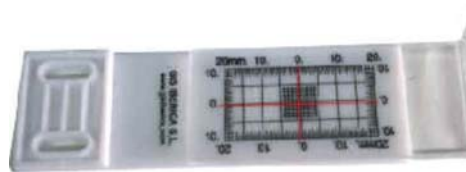
Mesura d'obertura de fissures o discontinuïtats



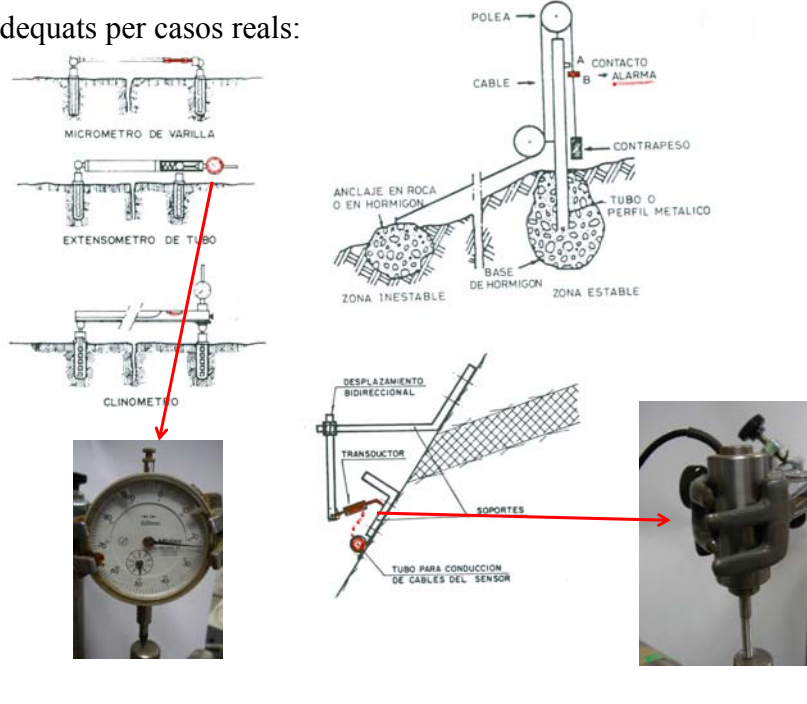
Com mesurar Δl , Δt , Δz ?

- Cinta metàlica
- Cinta de convergència
- Micròmetre,
- Micròmetre 'de varilla'
- Transductors (LVDT's)
-

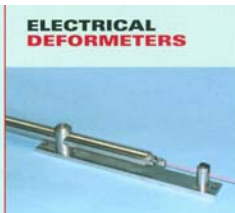
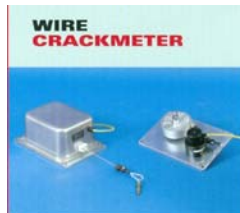
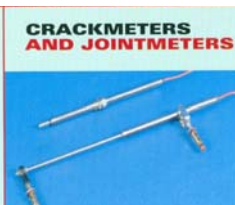
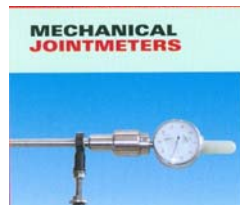
Les regletes són, en general, poc adequades per casos reals (camp obert):



Més adequats per casos reals:



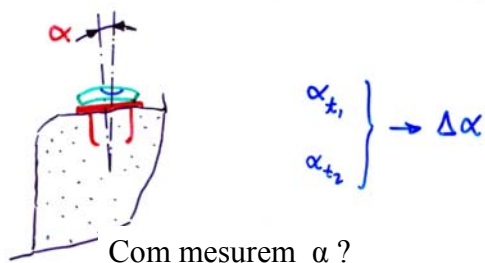
Algunes solucions comercials*:



← fissurímetres.
Veure exemple del seu ús a la presentació de M.Janeras

*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes similarment bons

Mesura canvis inclinació mitjançant CLINÒMETRE
(en superfície)



Com mesurem α ?

- Nivell de bombolla d'aire
- Nivell de bombolla amb micròmetre
- Nivell de bombolla electrolític
- Sensor de pèndol amb transductor de "corda vibrant"
- Sensor amb servoacceleròmetres

Algunes solucions comercials(*):



*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes similarment bons

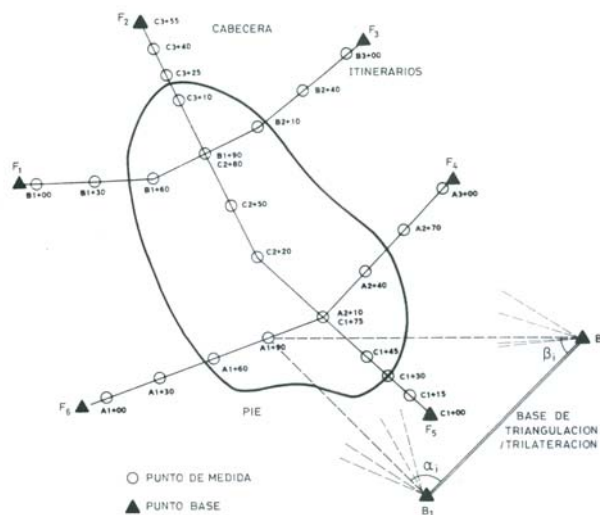
Mètodes topogràfics (“microgeodèsia”)

Es basen en la mesura precisa d’angles i distàncies

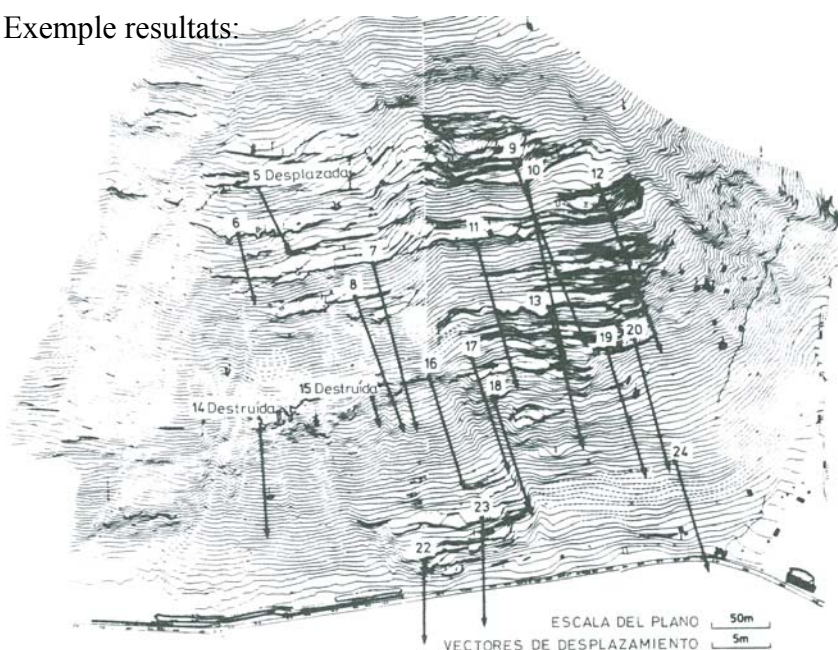
Alguns dels mètodes:

- Nivellació geomètrica
- Desviacions de la visual
- Triangulació
- Trilateració
- Triangulateració
- Variació de la distància(*)
- Radiació
- Poligonal de precisió
- Sistema GNSS/GPS

*: Veure exemple del seu ús a la presentació de M.Janeras



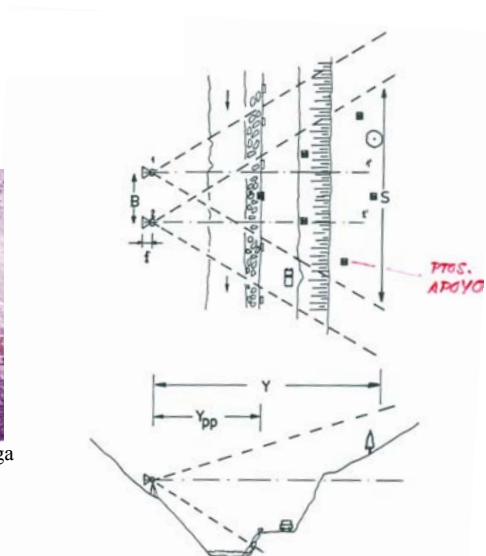
Exemple resultats:



Fotogrametria Terrestre

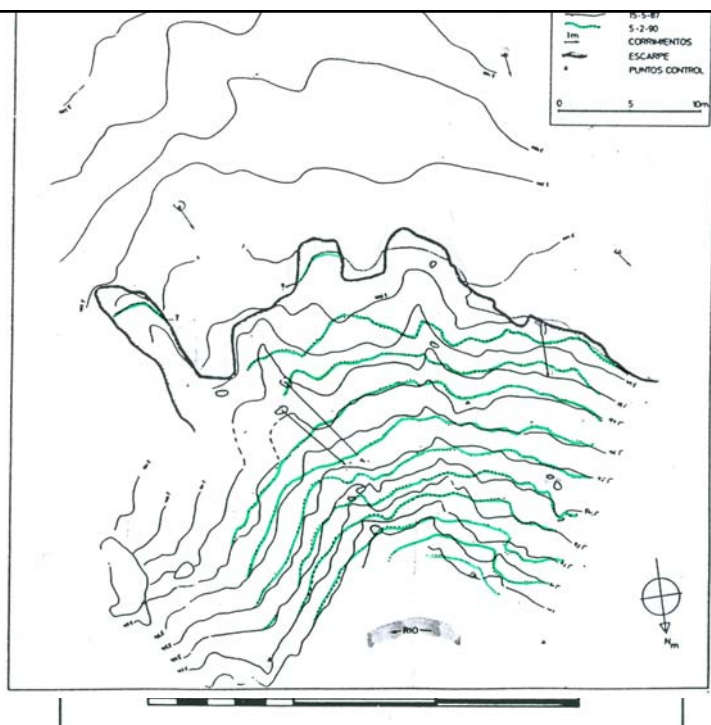


Càmera mètrica antiga



Actualment les càmeres són digitals, i el procés i les eines de restitució més simples.
Possible ús de 'drons' (UAV) per la presa fotogràfica.

Exemple,
esllavissada
de Vallcebre



Index

- Tècniques “clàssiques”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “recents”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals

Taula resum de tècniques “en sondeig” (en profunditat)

Algunos métodos para monitorización de laderas a partir de determinaciones en sondeo.

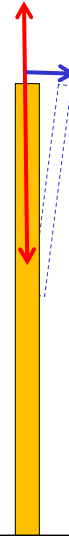
Método	Resultado típico	Rango típico	Precisión típica
Extensómetro de hilo, de varilla, simples, múltiples...	ΔL	Profund.< 50m	0,1 a 1 mm
Inclinómetro (móvil)	$\Delta X, \Delta Y$	Profund. < 50m i <20°, opcional 90°	1 mm / 10 m
Inclinómetro (fijo)	$\Delta X, \Delta Y$	idem	0,05 mm en 3 m
Micrómetro deslizante	ΔL_i	Profund.< 50m	3 μ m/ m
Deflectómetros	curvatura	Profund.< 50 m	0,01°
Piezómetros	$\Delta P_w \sim \Delta H_w$	10 a 50 m profundidad	30mm

Otros: * Combinación de sondas sencillas: “TRIVEC”, Extenso-deflectómetro...
 * Detectores de Rotura, Péndulos invertidos, Emisión Acústica, Células de carga en anclajes
 * TDR (Time Domain Reflectometry).

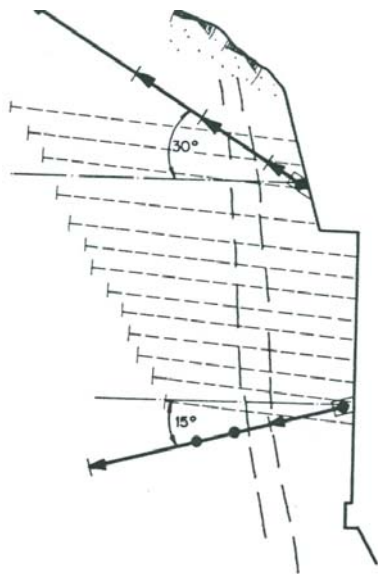
Tècniques “en sondeig”

Les presentem segons el moviment que mesuren:

- Instruments que mesuren moviment segons l'eix del sondeig
- Instruments que mesuren moviment transversalment al sondeig
- Instruments que mesuren ambdós tipus de moviment.



- Instruments que mesuren moviment segons l'eix del sondeig



Extensòmetres.

Poden ser de cable,
de varetes, simples,
múltiples...

Algunes solucions comercials(*):

*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes simlarmet bons

• Instruments [segons l'eix del sondeig \(cont\)](#)

Extensòmetre o micròmetre LLISCANT

Accessoris: cable, unitat lectura, entubat especial.

Extensòmetre LLISCANT amb detecció i mesura magnètica de la longitud de cada tram:



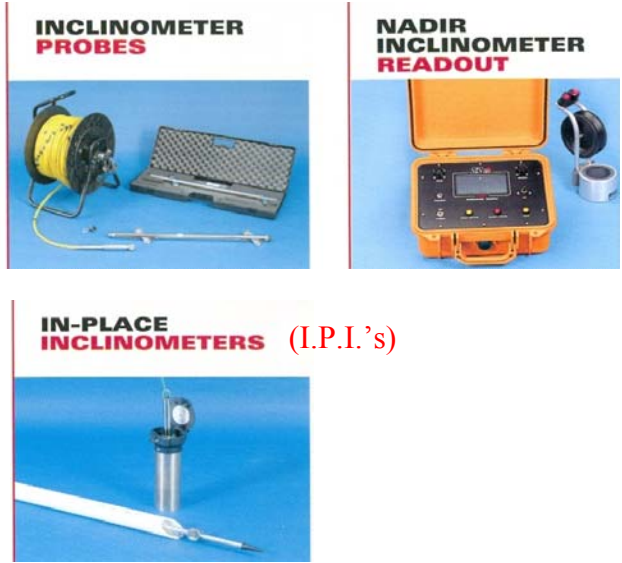
*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes similarment bons

- Instruments que mesuren moviment transversalment al sondeig

SONDES INCLINOMÈTRIQUES

(familiarment a aquests tipus de sondes se les anomena "torpedes")

Algunes solucions comercials(*):

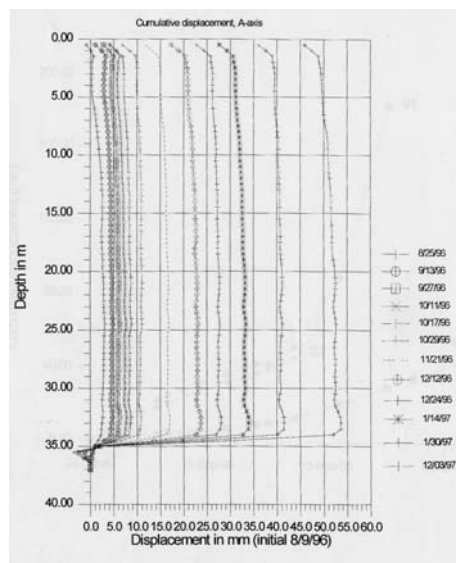


*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes similarment bons

Exemple de resultats (esllavissada de Vallcebre)



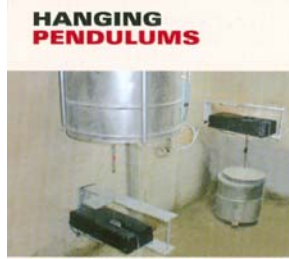
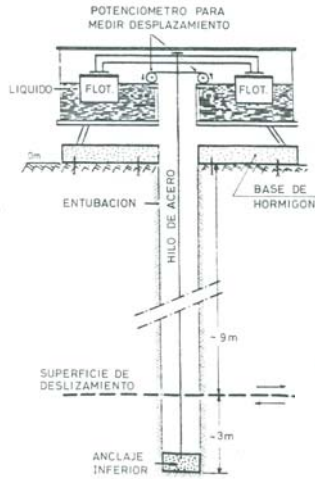
The inclinometric probe at the top of one borehole



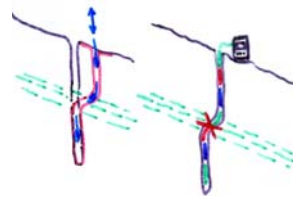
Horizontal displacement profile for one borehole (usually up to 20 cm)

- Instruments[moviment transversalment al sondeig \(cont\)](#)

PÈNDOL INVERS o INVERTIT

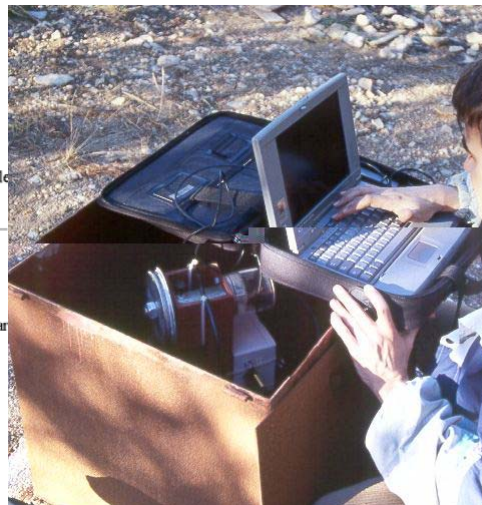
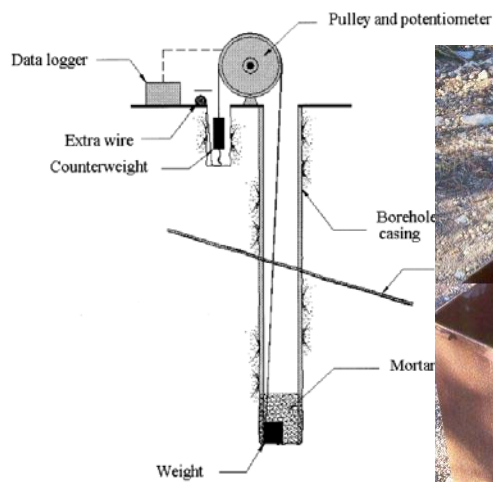


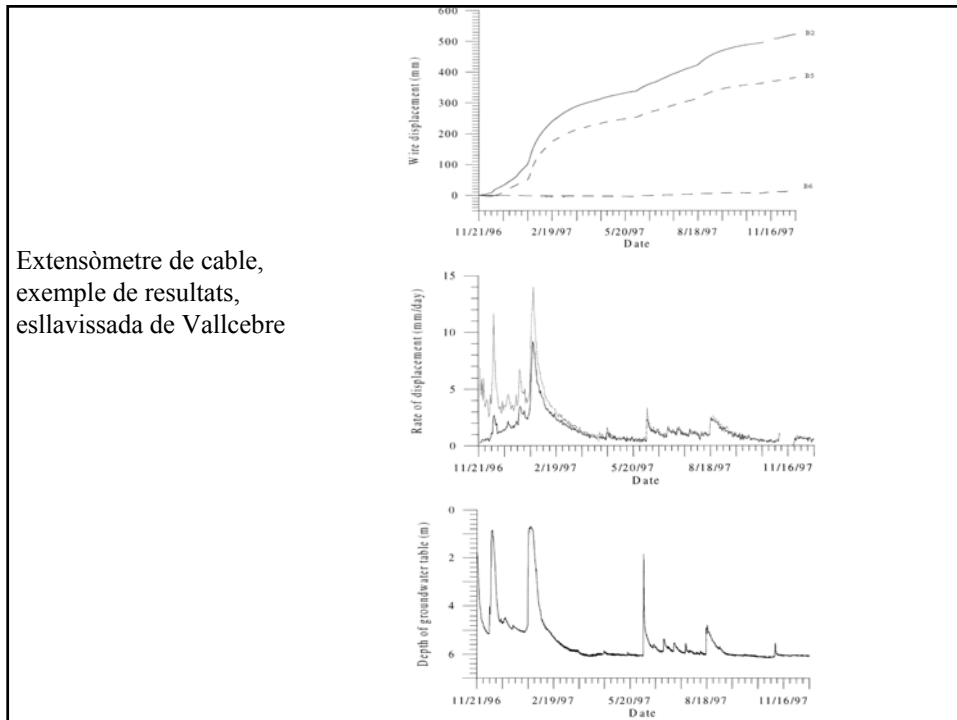
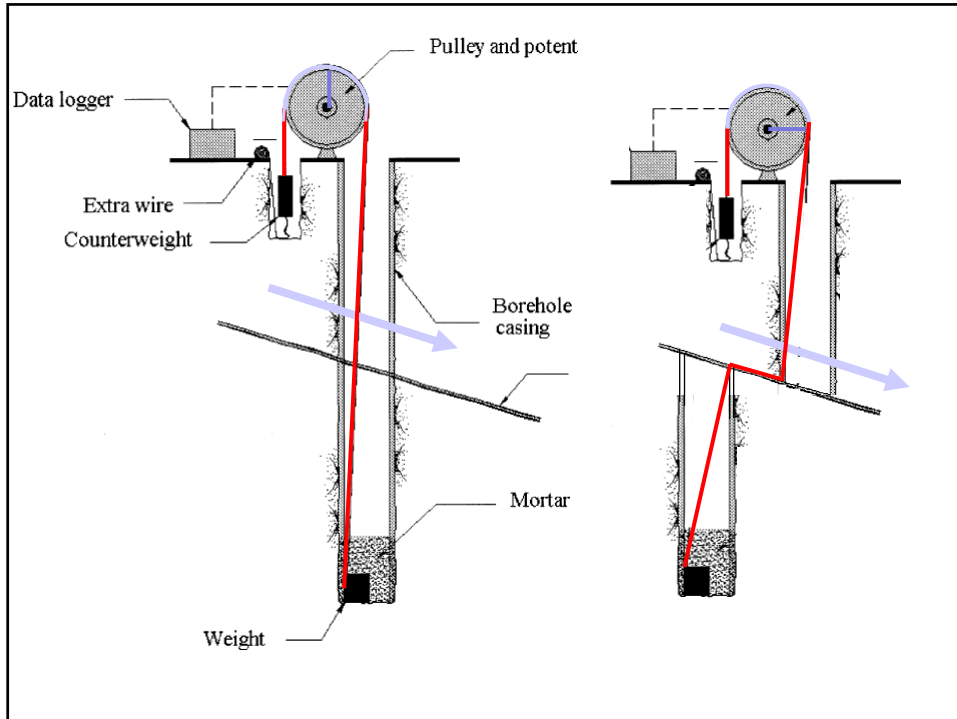
DETECTORS DE TRENCADA:



- Instruments[moviment transversalment al sondeig \(cont\)](#)

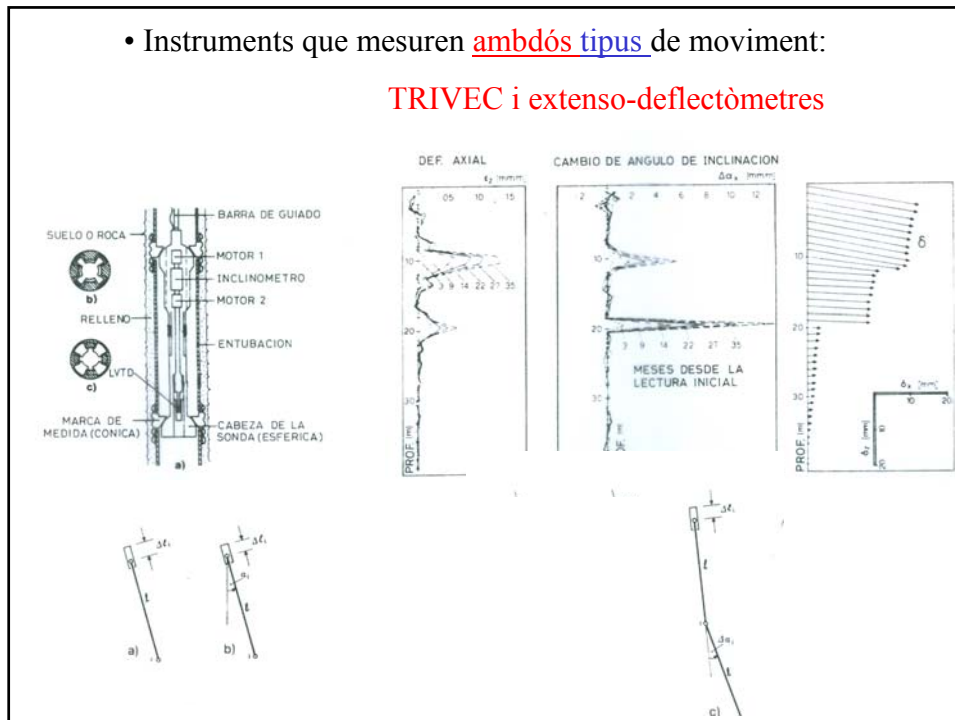
EXTENSOMETRE DE CABLE USAT "A TALLANT"





- Instruments que mesuren ambdós tipus de moviment:

TRIVEC i extenso-deflectòmetres



Altres tècniques d'auscultació (només hi ha espai o temps per nombrar-les):

- Piezòmetres (oberts, pneumàtics, elèctrics, de corda vibrant, piezòmetre lliscant...)
- HLS (Hydraulic Leveling System o 'Water cells')
- Estaciones meteorològiques (pluviòmetres, termòmetres...)
- Emisión Acústica (AE, microseismic monitoring)
- Células de carga en terreno o en cabeza de anclajes y bulones
- TDR (Time Domain Reflectometry)
- FO, Fibra Óptica

Algunes solucions comercials(*):



*: la majoria d'imatges solucions comercials d'aquest document són de SisGeo i Geokon, tot i que n'hi ha d'altres amb sistemes similarment bons

Index

- Tècniques “CLÀSIQUES”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “moderns”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS) (ja no és tan “modern”)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals

Comparació de mètodes GNSS/GPS adequats per monitoring

Method	Obs.time, per point, after initialisation	Post-process	Strength against lost of signal	Typical max. baselines (km)	Typical baseline planimetric error
General Static	1 to several hours	Yes	robust	50 to 100 ^a	5±1mm+1±0.1ppm
Fast-Static	8 to 20 min	Yes	robust	15 to 20	5mm+1ppm
R.T.K.	1 to 10 sec	No	sensitive	10	10mm+2ppm

Exemple de precisions per un cas típic i vectors GNSS ~ 1 Km:

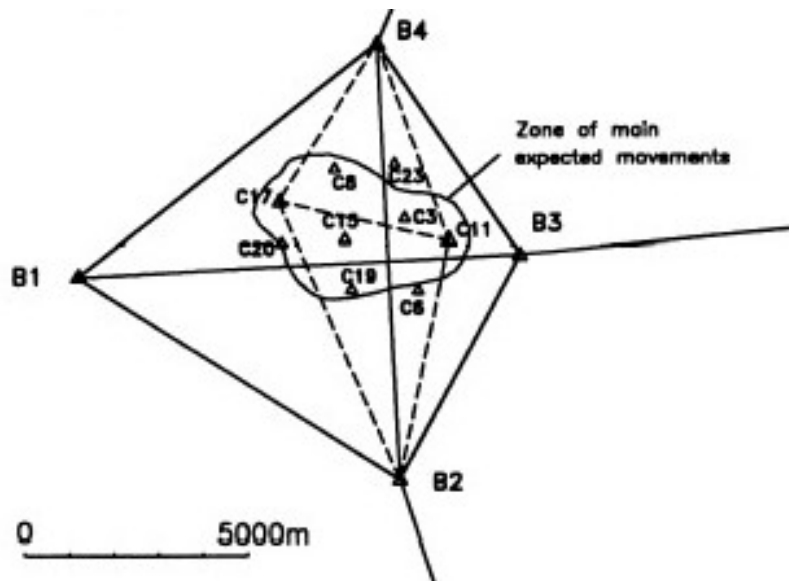
Mètode	Planimetria	Altimetria
Fast-Static	17 mm	26 mm
R.T.K.	22 mm	35 mm

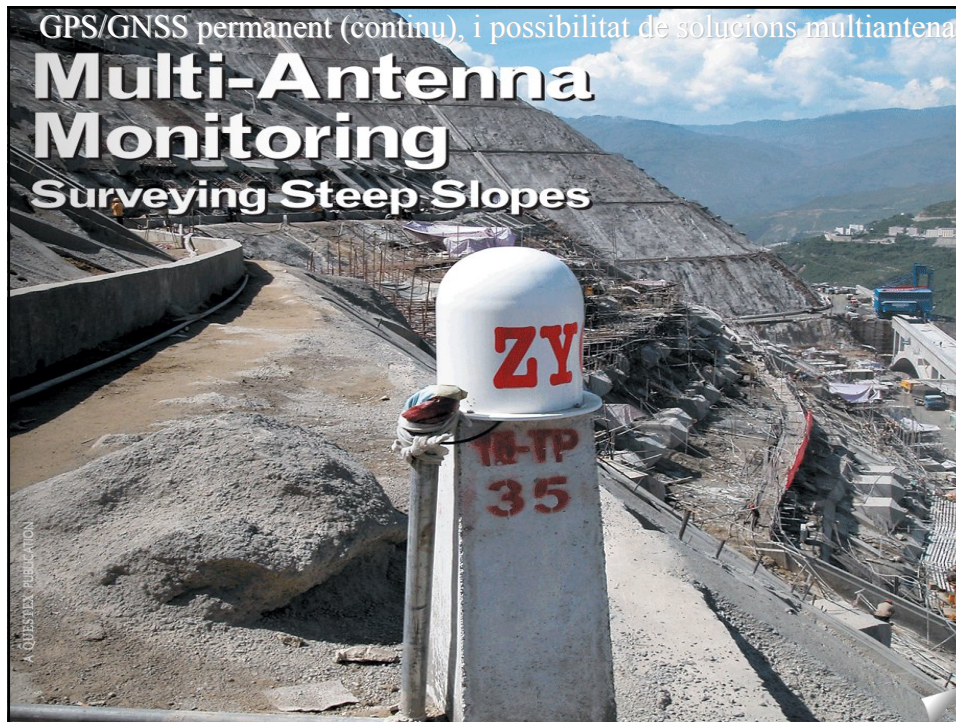
Importància estabilitat (local) dels punts a on es mesura:





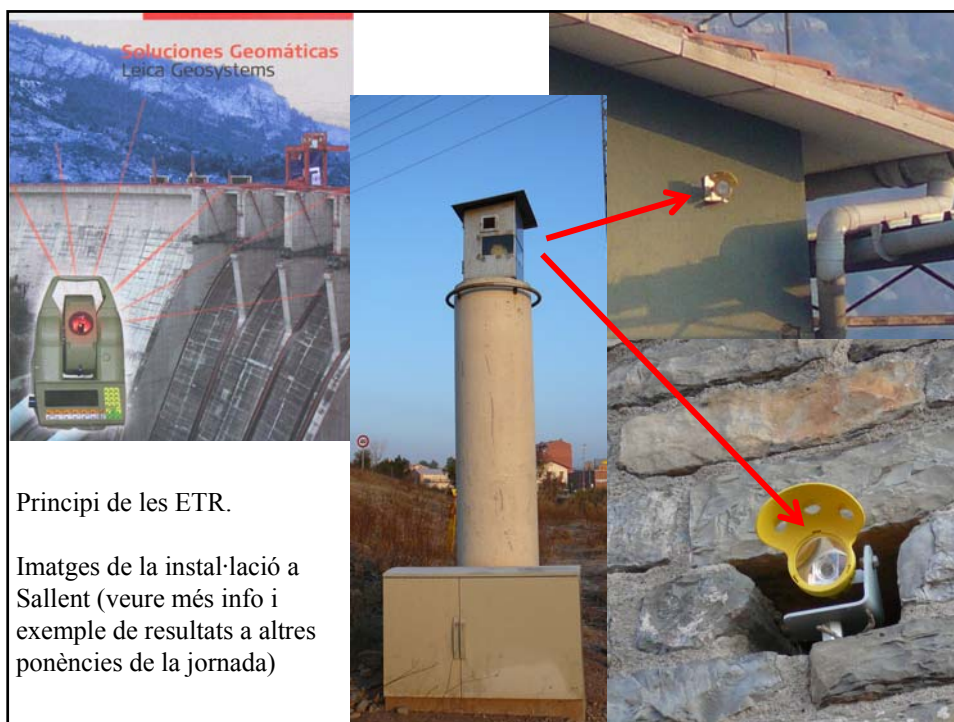
Bon marc de referència, i convenient incloure punts fixes a la xarxa





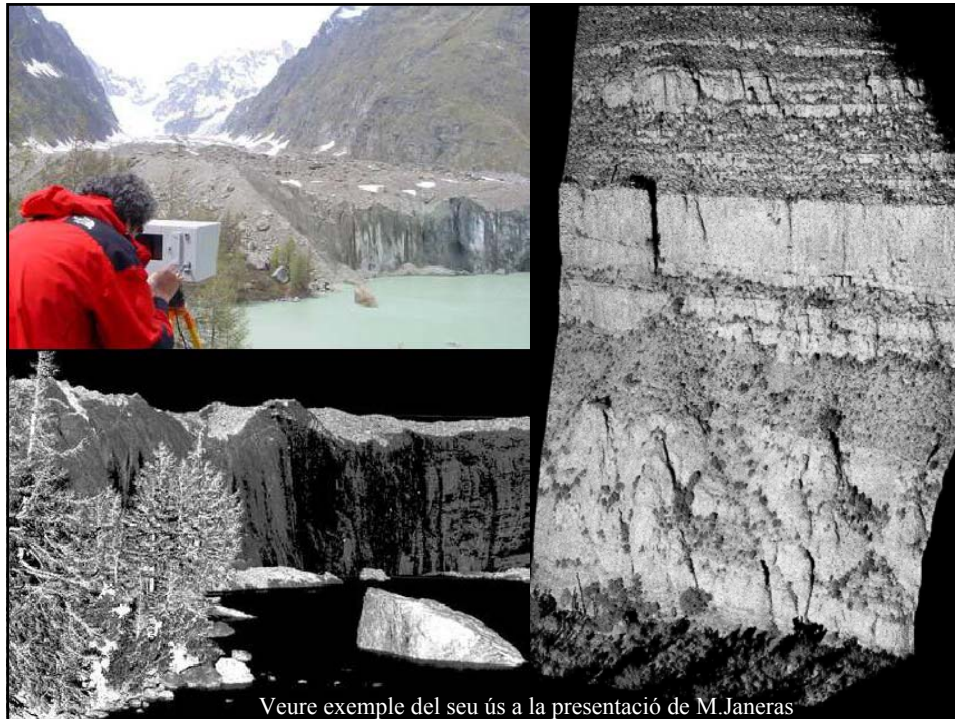
Index

- Tècniques “CLÀSIQUES”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “moderns”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR) (ja no és tan “modern”)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals



Index

- Tècniques “CLÀSIQUES”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “moderns”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS) (també es pot usar Aeri, ALS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals

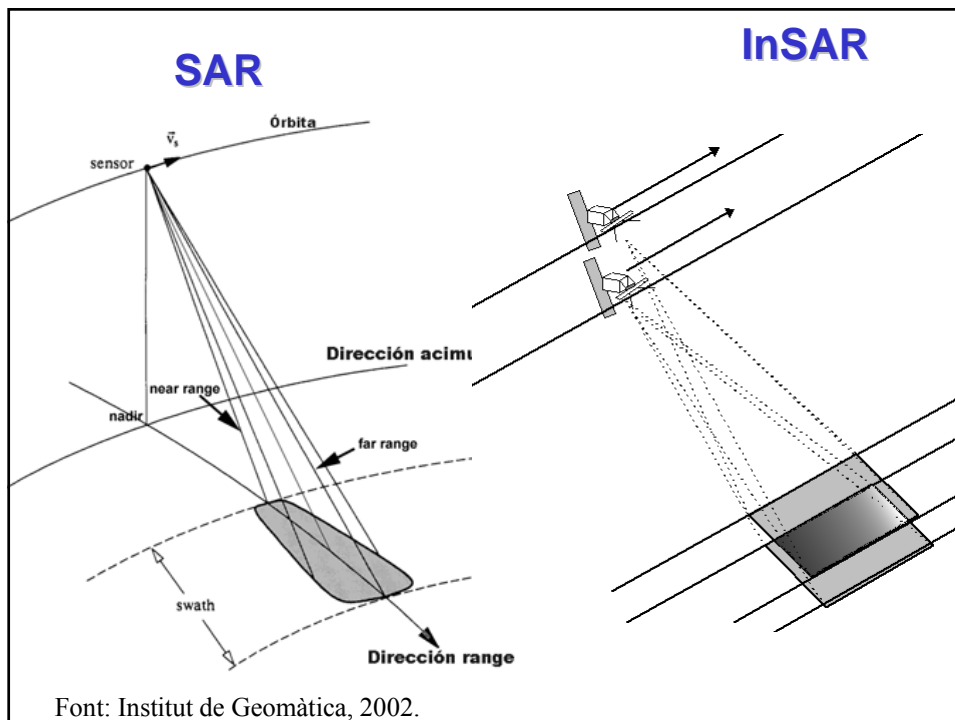


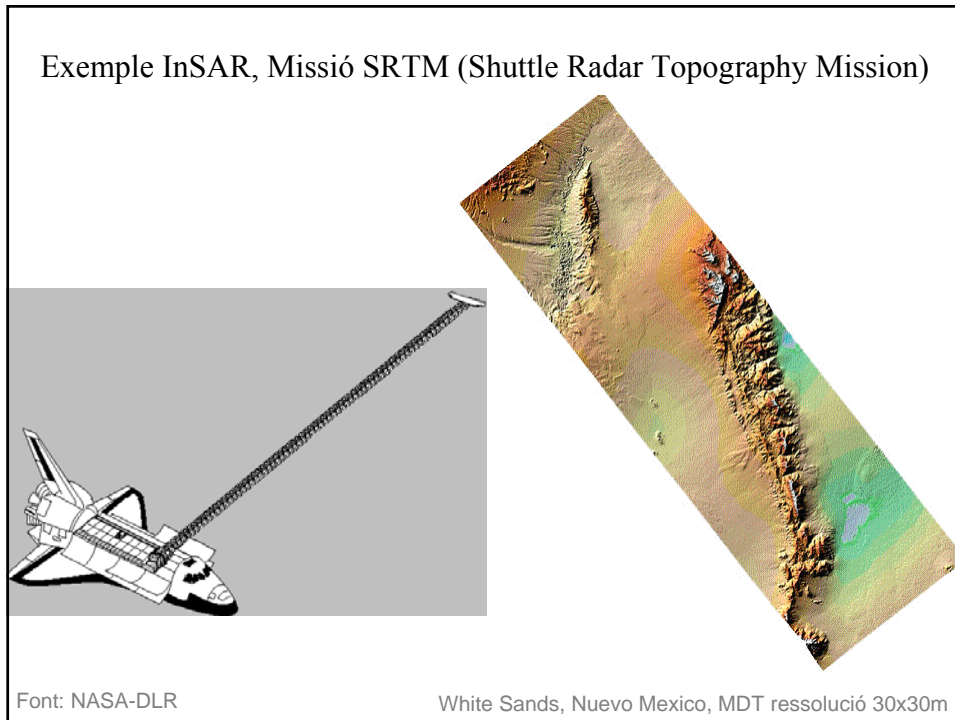
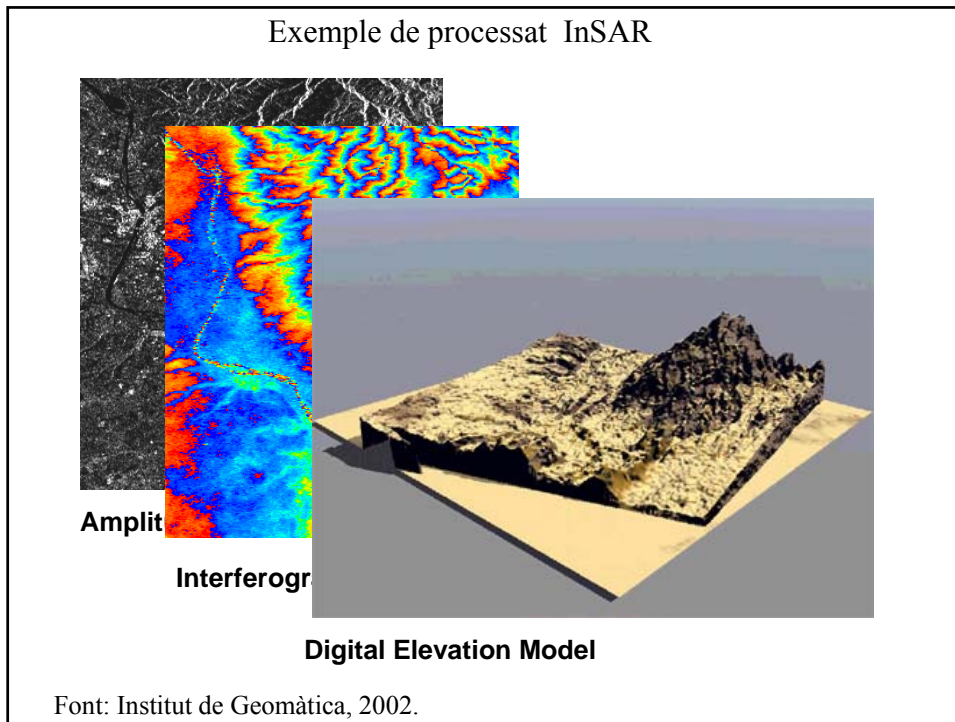
Index

- Tècniques “CLÀSIQUES”
 - En superfície i
 - En sondeig
- Algunes notes sobre mètodes més “moderns”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)
- Consideracions finals

Teledetecció RADAR

- **RADAR**: Tècnica de Remote Sensing radicalment diferent a les anteriors. Són sensors “actius”: emeten polsos d’energia (micro-ones, λ usualment entre 6 i 20cm) i es recuperen els “ecos” sobre la topografia.
- **SAR** = “Radar de Apertura Sintètica”. Exemple de satèl·lits que embarquen sensors aptes per usos geomàtics: RADARSAT, ERS-1 y ERS-2, ENVISAT, SENTINEL. Els sensors també poden ser aerotransportats, o terrestres (**GBSAR**).
- **InSAR** = Interferometria SAR. Es processen (SW MOLT específic) 2 ó més “imatges” SAR adquirides des de punts de vista diferents. Es genera un diagrama interferomètric del que es pot “treure” la topografia (exemple: Missió SRTM de NASA-DLR).
- **DInSAR**: Interferometria SAR diferencial. Es processen dades InSAR de varies “èpoques”. Conegut el MDT de la zona, es va “integrant” la fase interferomètrica des de els punts allunyats fins el centre de la zona d’estudi, obtenint-se els canvis soferts pel terreny. Hi ha varies tècniques, PS es una d’elles.
- **RAR**: Radar Apertura Real, tècnica no interferomètrica, permet fer seguiment de deformacions en temps real i amb alta freqüència.





Moviments a partir de RADAR, DInSAR

- El **DInSAR** cobreix zones extenses (1000 Km² p.e.), a cost competitiu, amb resolució espacial (pixel d'informació) de l'ordre de 10 m, i precisió de l'ordre de uns pocs mm en les deformacions. Segons la missió, es poden tenir noves imatges des de 1 mes a cada 11 dies.

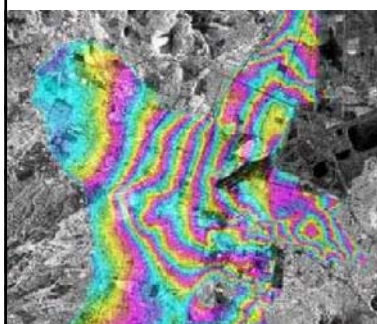
- **PERÒ:** és imprescindible que es mantingui la "**coherència**" de la escena entre èpoques (canvis de morfologia, humitat, atmosfèrics... poden afectar els resultats, fins i tot impedir obtenir res).

- El **DInSAR** pot ser usat per detectar fenòmens incipients i encara no evidents per altres mitjans, o bé per monitoritzar zones amb moviments ja coneguts. Degut a l'arxiu d'imatges Radar d'alguns dels satèl·lits (n'hi ha des de 1991), es poden investigar etapes pretèrites de fenòmens que s'han posat en evidència posteriorment.

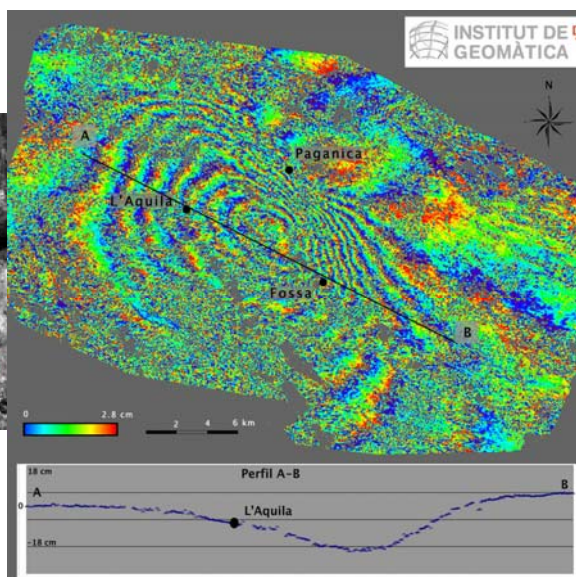
• **Aplicacions:**

- subsidència en àrees urbanes (deguda, per exemple, a extracció d'aigua)
- deformacions pre-eruptives de volcans
- moviments sísmics
- desplaçament de glaciars
- moviment de vessant.
- deformacions associada a excavació de túnels o a mineria.

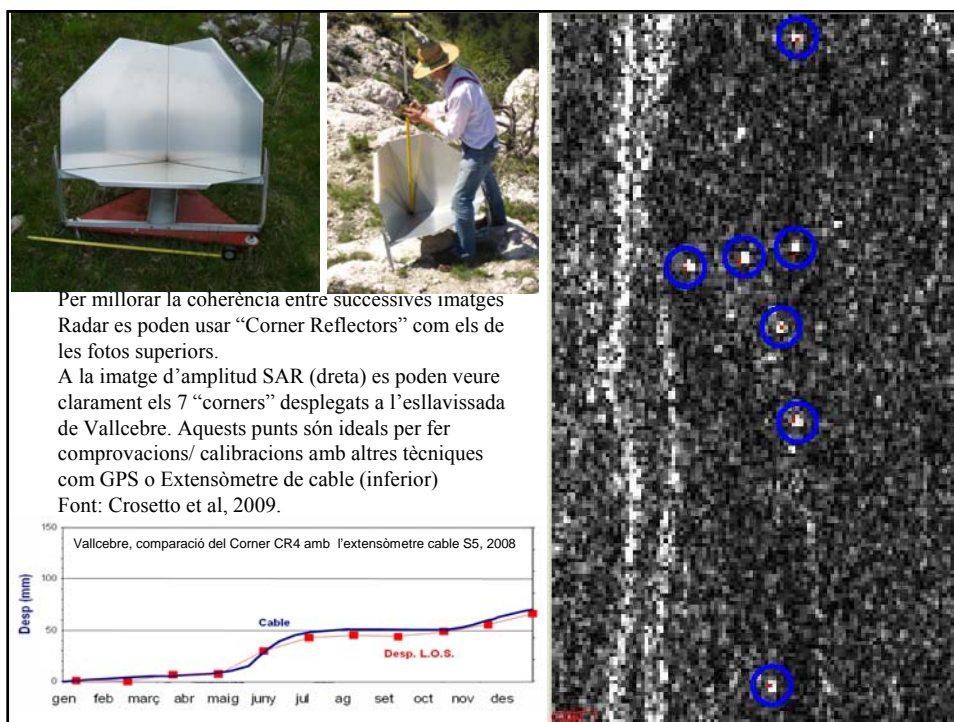
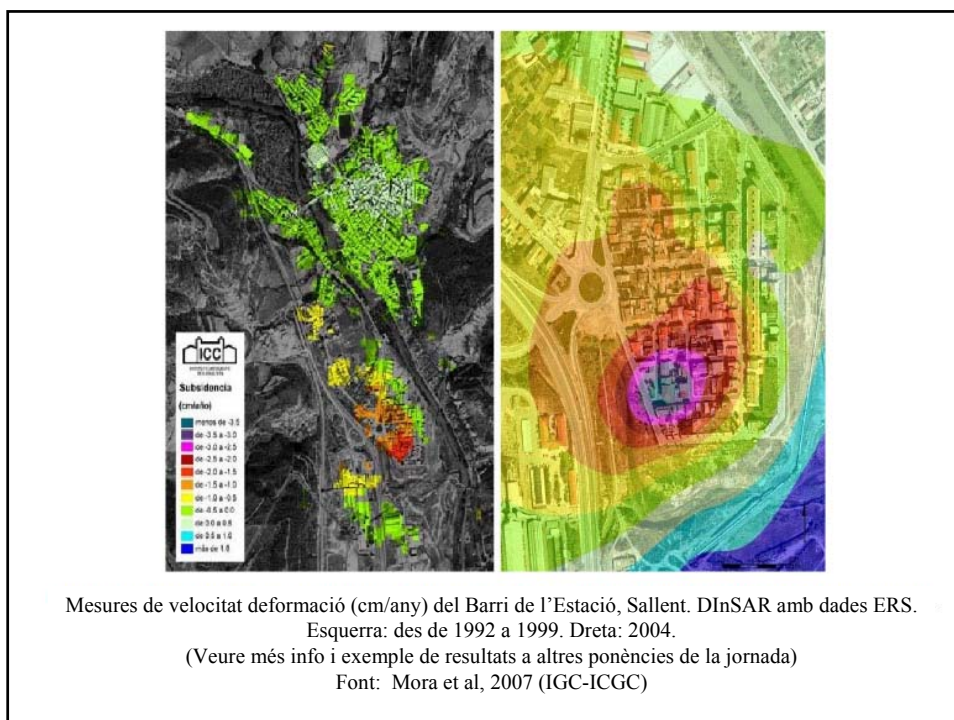
DInSAR des de Satèl·lit (SBSAR):



Ciudad de México,
DInSAR amb dades ERS
1 cicle = 5cm/any de velocitat
d'assentament per consolidació 2^a
Font: ESA/Gamma



Terratrèmol L'Aquila (It), DInSAR amb dades ASAR de ENVISAT
1 cicle = 2,8cm de desplaçament co-sísmic.
Font: Institut de Geomàtica (GenCat-UPC), actualment dins del CTTC



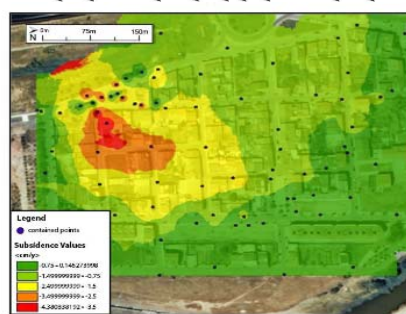
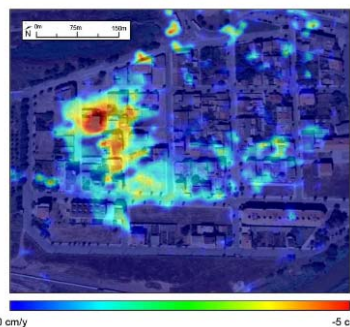
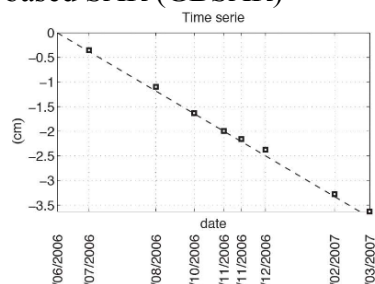
DInSAR des de avioneta (Airborne SAR)



Dos punts de mesura a l'esllavissada Slumgullion (EUA) amb mini 'corner reflectors' preparats per a ser observats amb la tècnica DInSAR des d'avioneta. El Airborne SAR no és massa freqüent.

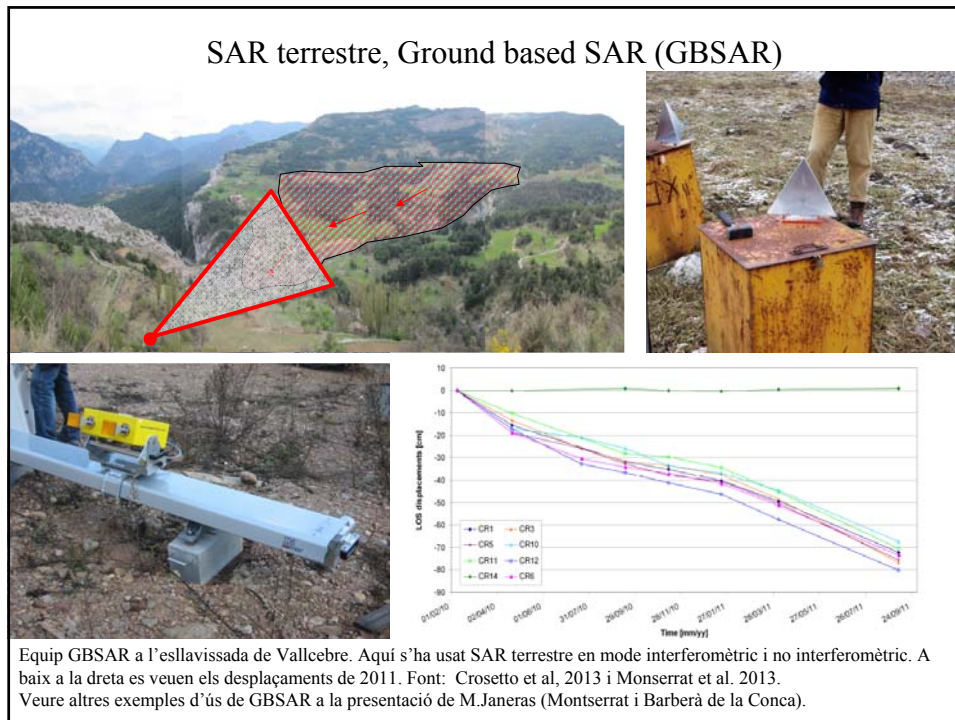
Font: USGS, 2010.

SAR terrestre, Ground based SAR (GBSAR)



Equip GBSAR a Sallent per monitorització del Barri de l'Estació, i 3 gràfics de resultats.

Font: Iglesias et al, 2014 (veure més info a altres ponències de la jornada)



Index

- Tècniques “CLÀSIQUES”
 - En superfície i
 - En sondeig

- Alguns detalls sobre mètodes més “moderns”
 - Posicionament precís per satèl·lit (GNSS/GPS)
 - Estació Total Robotitzada o Automàtica (ETR)
 - Làser Escàner Terrestre (TLS)
 - Tècniques basades en RADAR (DInSAR, GBSAR, RAR)

- Consideracions finals

Consideracions finals

- Tendències actuals:
 - sistemes automàtics i continus d'adquisició
 - transmissió remota de les dades (SAT, GSM, Radio, Wireless)
 - Quasi Temps Real (bàsic per a un sistema EWS (d'alerta primerenca).
- Ull: sistema automàtic *no vol dir* "sense manteniment"!
- Diversitat de mètodes tècnicament a punt, però no tots es poden emprar en cada cas concret.
- S'han de contrastar i calibrar sovint els instruments.
- O es monitoritza bé, o millor no instrumentar (tenir dades dolentes és quasi pitjor q no tenir-ne).
- Si possible, usar més d'una tècnica, i varis punts de control (una certa redundància va bé).

Consideracions finals (cont)

- Concepte *d'instrumentació progressiva*...
P.ex: Inici ràpid amb GPS o amb Wi-GIM, posteriorment es posa una ETR, mentre es fan sondeigs de reconeixement que s'aprofiten per col·locar algun inclinòmetre, piezòmetre i extensòmetre de cable. En cas d'arribar a un moment de crisi (acceleracions), llavors s'ubica un GBSAR per al seguiment del fenomen i pressa de decisions.
- "*Instrumentar és car*"... Més car surt **NO** instrumentar!
(en els casos en els que la monitorització està justificada)

Referencies generals per si cal ampliar

Hi ha texts "classics" com:

- Dunncliff, J. and Green, G.E., 1993. Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. Wiley, New York, 577 pp.
- Mikkelsen, P.E., 1996. Field instrumentation.; Landslides; investigation and mitigation. Special Report Transportation Research Board, National Research Council: 278 - 316.

I d'altres més recents:

- ClimChAlp (2008) "Slope Monitoring Methods, A State of the Art Report". Interreg III B Alpine Space ClimChAlp Project, WP 6. A. von Poschinger & T. Schäfer Eds. München, 165 pp.

Referencies per ampliar

**GEOTECHNICAL
INSTRUMENTATION
FOR MONITORING
FIELD PERFORMANCE**

John Dunncliff



ClimChAlp
Interreg III B Alpine Space

Slope Monitoring Methods
A State of the Art Report

Work Package 6

Munich, 28.2.2008

