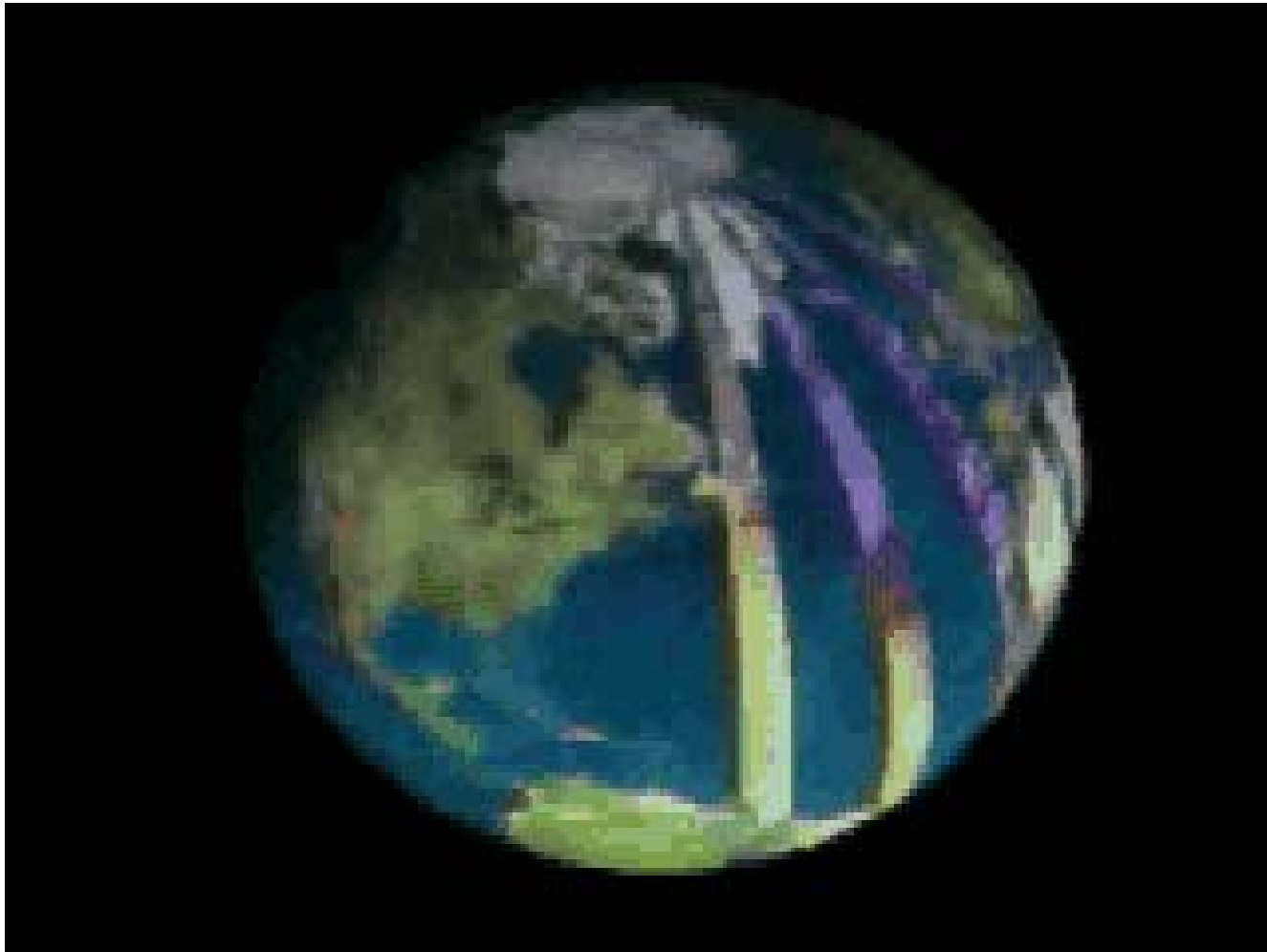




# La creazione del geoida dalle misure altimetriche, orbita dopo orbita

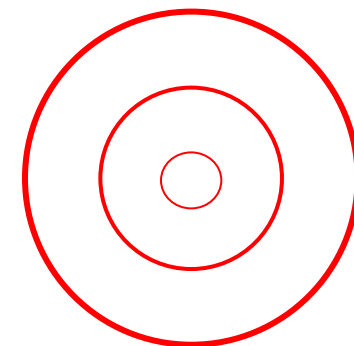
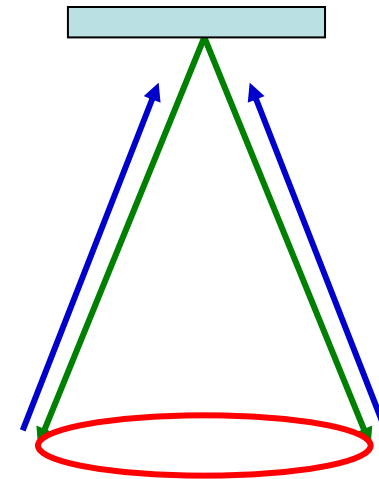


## Il Radar per generare immagini non può invece illuminare verticalmente (nadir) il territorio ...

... perché rimarrebbe l'ambiguità di posizione degli oggetti che si trovano su ogni circonferenza concentrica che si allarga man mano che l'impulso radar sferico tocca la superficie terrestre:

infatti, le eco di questi oggetti tornerebbero tutte allo stesso istante (stessa distanza) al sensore e sarebbe impossibile identificare l'eco di un singolo oggetto.

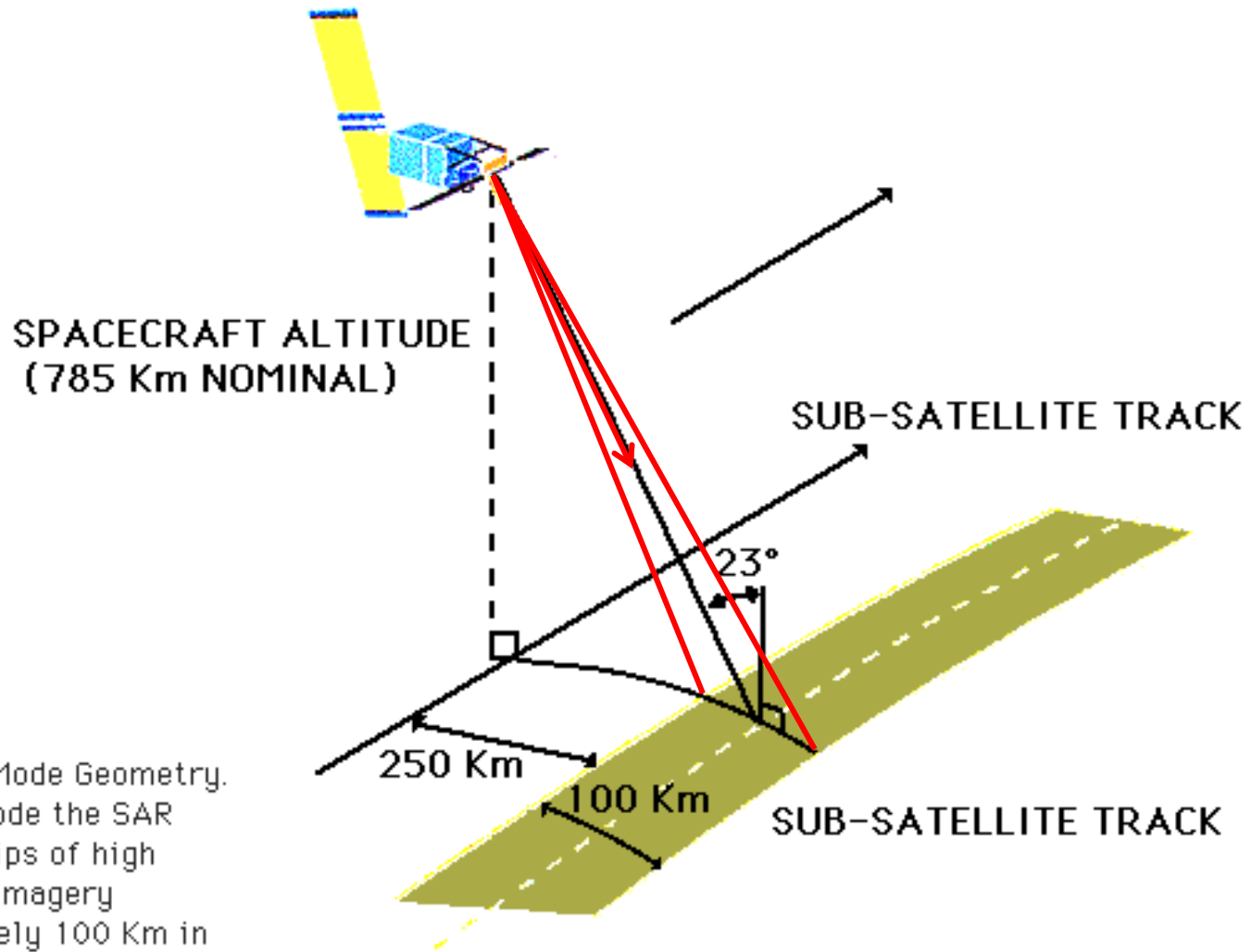
Quindi, il radar per generare immagini illumina il territorio in direzione obliqua, trasversalmente alla direzione di volo ...





# Radare a Sintesi d'Apertura (SAR) dei satelliti ERS

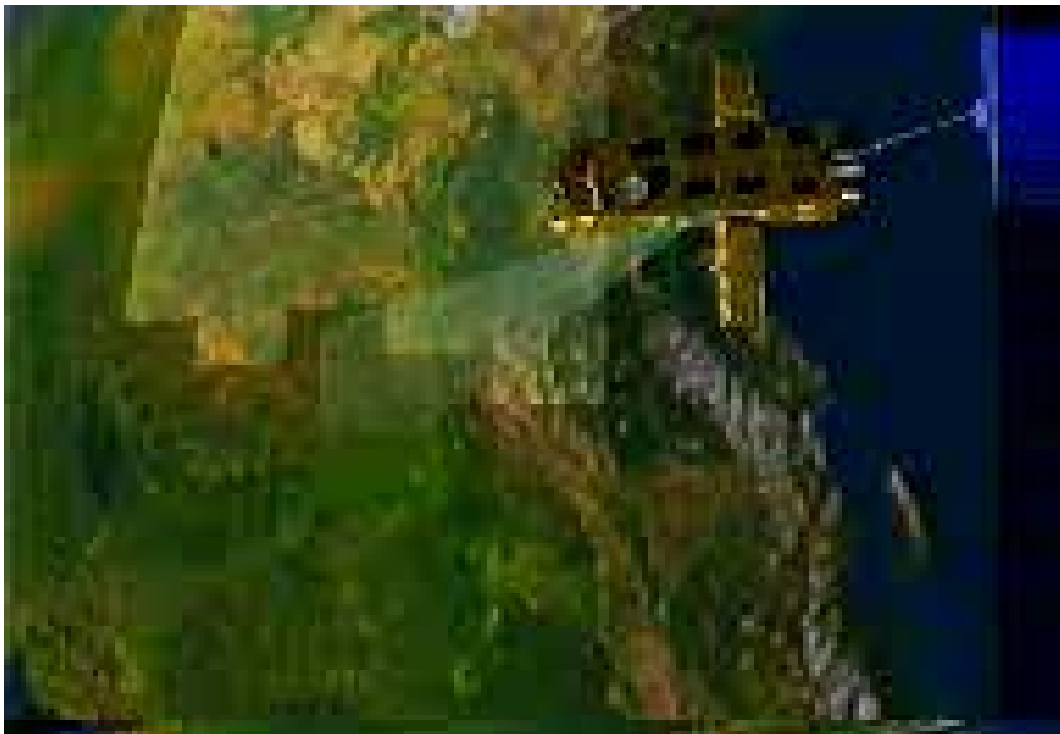
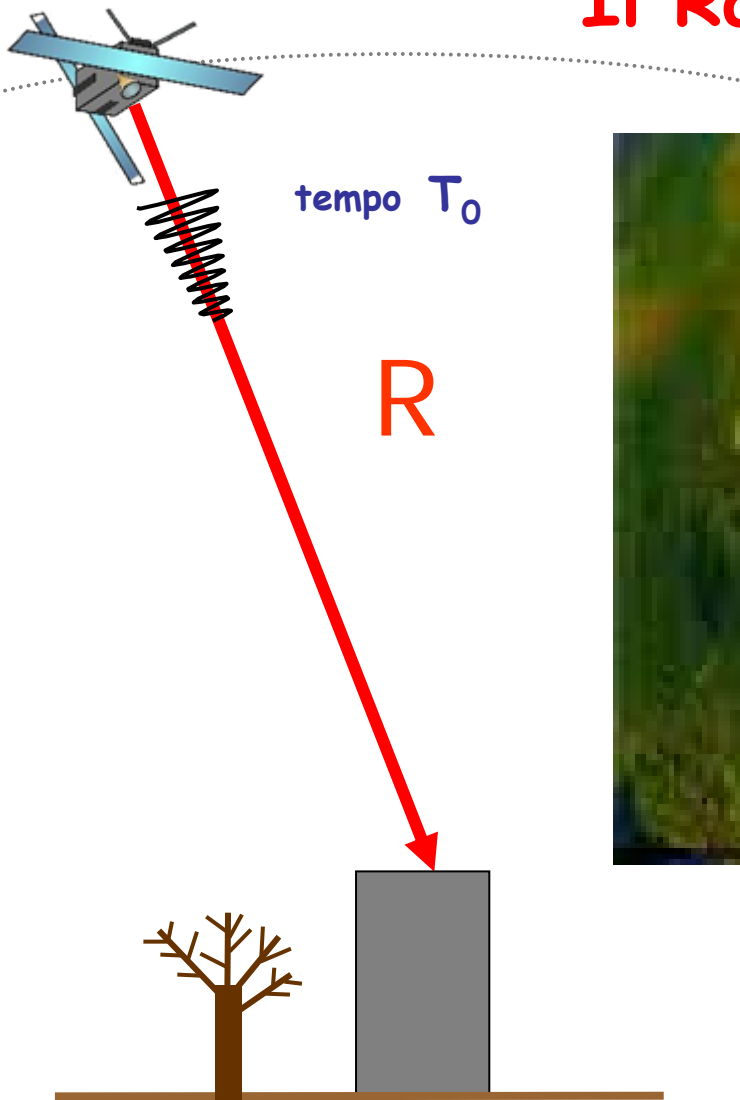
## Geometria d'osservazione



AMI Image Mode Geometry. In image mode the SAR obtains strips of high resolution imagery approximately 100 Km in width, 250 Km to the right of the sub-satellite track.



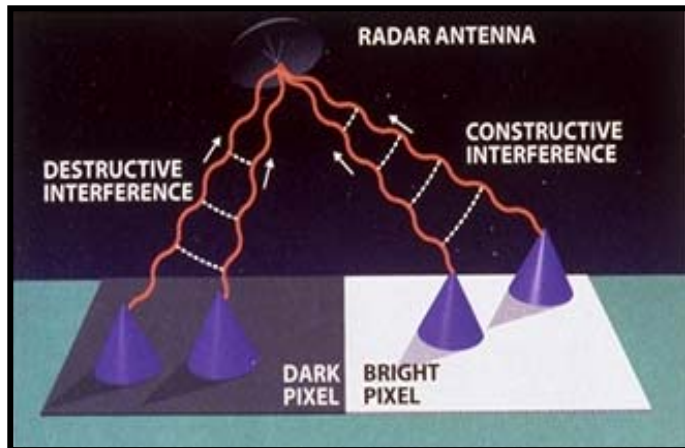
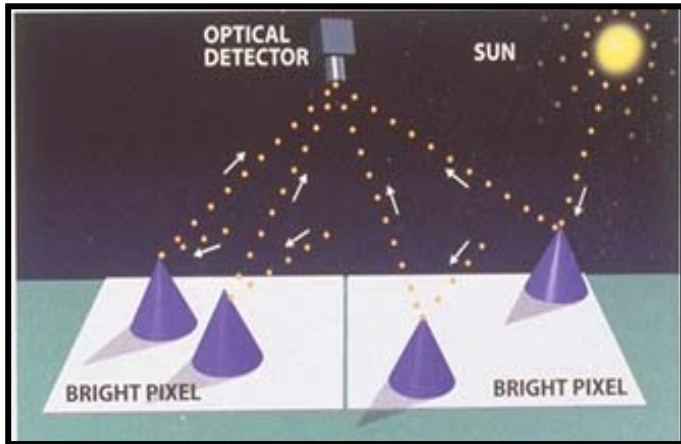
# Il Radar illumina un oggetto





# Qualità dell'immagine: la radiometria

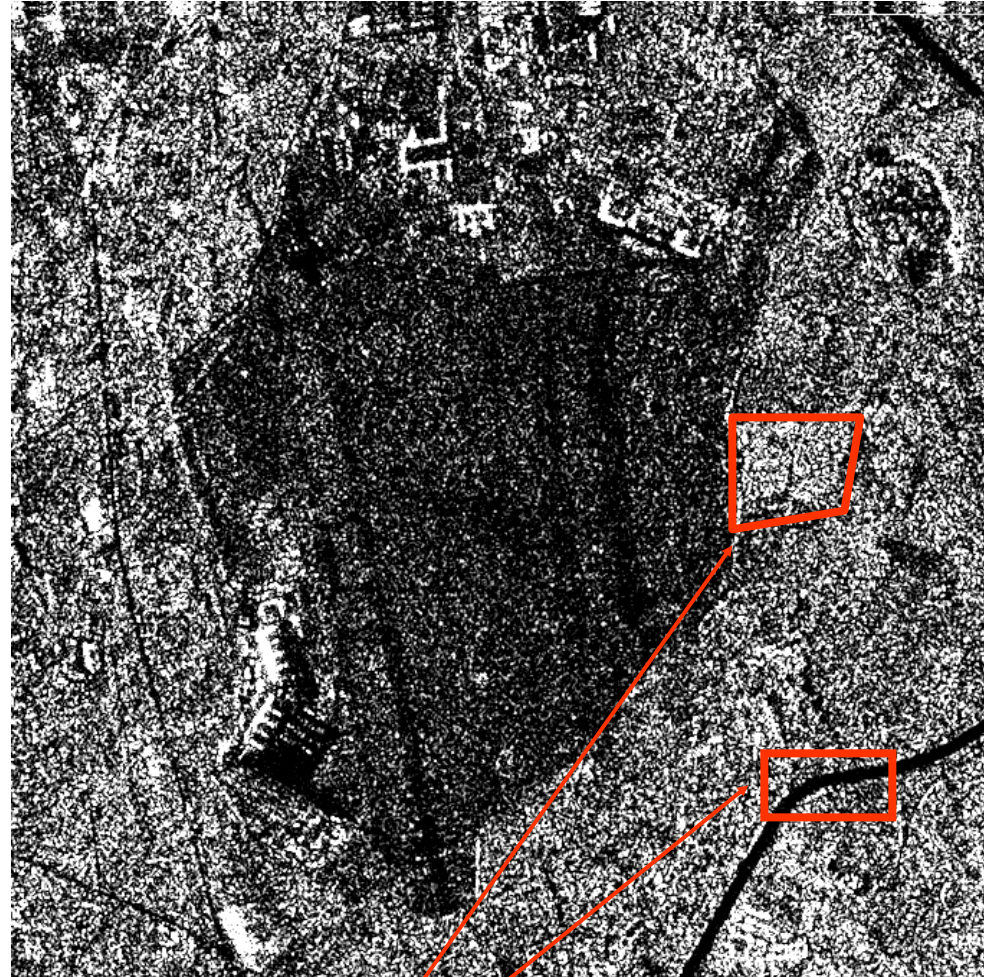
## Luce coerente e rumore (speckle)



© Scientific American

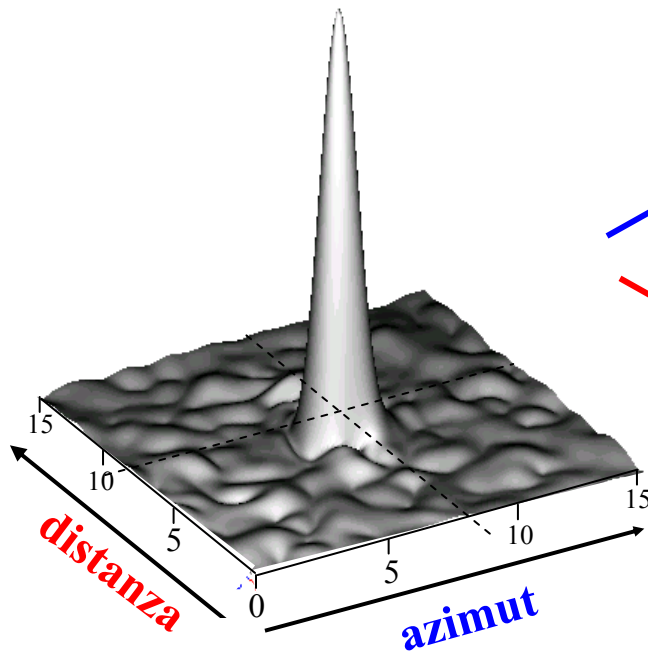
- Luce casuale: risultato deterministico
- Luce deterministica: risultato casuale

Maurizio Fea

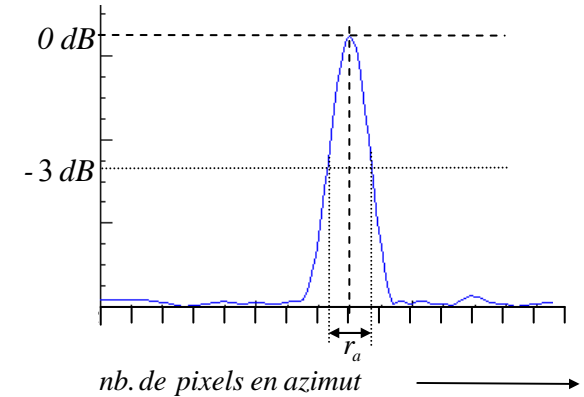


Speckle: rumore moltiplicativo

# Geometria: la risposta all'impulso → la risoluzione geometrica

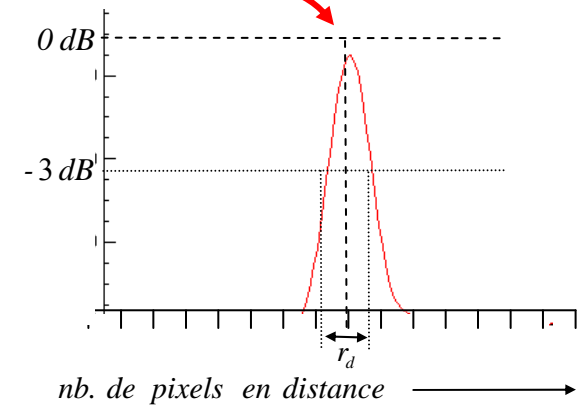


azimut



risoluzione

distanza





## Parametri fisici che determinano la eco del SAR

Il **coefficiente di retrodiffusione**  $\sigma_0$  è il parametro che rappresenta l'intensità del segnale  $\sigma$  retrodiffuso dagli oggetti *illuminati* dagli impulsi del SAR (i primi chiamati spesso *bersagli radar*), quando il segnale è stato calibrato.

Il valore di  $\sigma$  è determinato dalle seguenti caratteristiche fisiche del territorio e degli oggetti presenti sulla sua superficie:

- **geometriche**, cioè dalla **rugosità** della superficie illuminata, vale a dire dal confronto della dimensione delle asperità presenti con la lunghezza d'onda  $\lambda$  degli impulsi del SAR
- **elettriche**, cioè legate alla costante dielettrica del bersaglio, la quale è a sua volta dovuta a:
  - **conduttività elettrica** del bersaglio (alta per materiale ferroso, bassa per materiale legnoso o gommoso)
  - **umidità** della sua superficie (a causa dell'alta conduttività dell'acqua una superficie umida ha un'alta reattività, quindi anche la gomma o il legno quando sono *bagnati* presentano una forte interazione con gli impulsi del SAR che li illuminano)





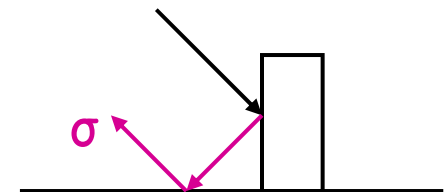
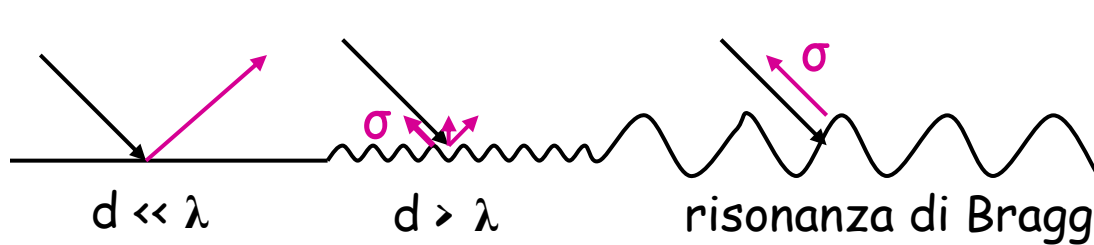
# Generazione del segnale retrodiffuso del SAR

## Interazione con il terreno e parametri geometrici: rugosità

Quando l'impulso del SAR illumina una superficie, esso interagisce con essa ed in particolare con le asperità che la compongono.

Se  $d$  è la dimensione tipica di tali asperità e  $\lambda$  la lunghezza d'onda utilizzata dal SAR, si hanno i risultati seguenti:

- $d \ll \lambda$  : la superficie appare liscia all'impulso, che subisce una riflessione totale quindi il segnale retrodiffuso (eco di ritorno) al SAR è nullo ( $\sigma = 0$ ); naturalmente, la stessa superficie non appare liscia a  $\lambda$  più corta
- $d$  simile o superiore a  $\lambda$  : la superficie appare sempre più rugosa e l'eco aumenta



Riflessione multipla  
- più forte se piano è liscio  
- meno forte se è rugoso

Il valore di  $\sigma$  dà il *tono di grigio* nella visualizzazione dell'immagine!



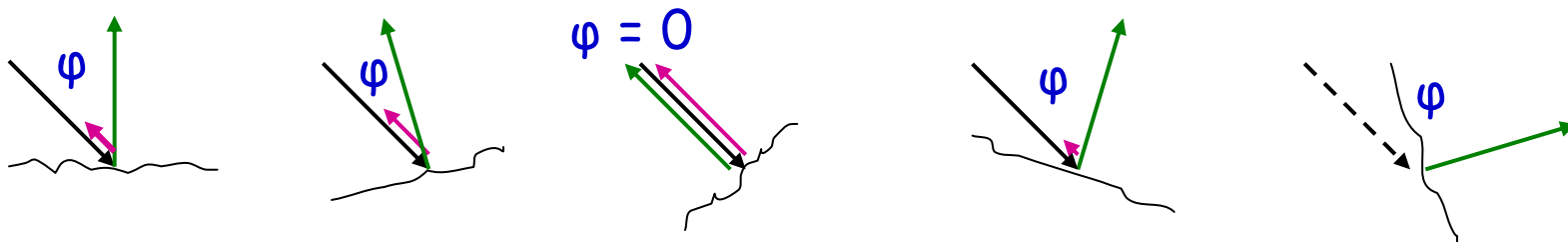


# Generazione del segnale retrodiffuso del SAR

## Parametri geometrici: l'angolo d'incidenza locale

A parità di tipo di terreno e di angolo d'illuminazione del SAR, l'eco  $\sigma$  varia in funzione dell'angolo d'incidenza locale  $\varphi$ :

- al diminuire di  $\varphi$  l'eco aumenta d'intensità (pendenze sopravvento)
- quando  $\varphi = 0$  l'intensità dell'eco retrodiffusa è massima (effetto speculare)
- all'aumentare di  $\varphi$  diminuisce l'eco di ritorno al SAR (pendenze sottovento)
- quando  $\varphi \geq \pi/2$  ( $90^\circ$ ) nella direzione sottovento, la pendenza è in *ombra*, vale a dire che gli impulsi del SAR non possono illuminarla: eco nulla ( $\sigma = 0$ ) per assenza totale di energia sulla pendente e impossibilità di generare un'eco.



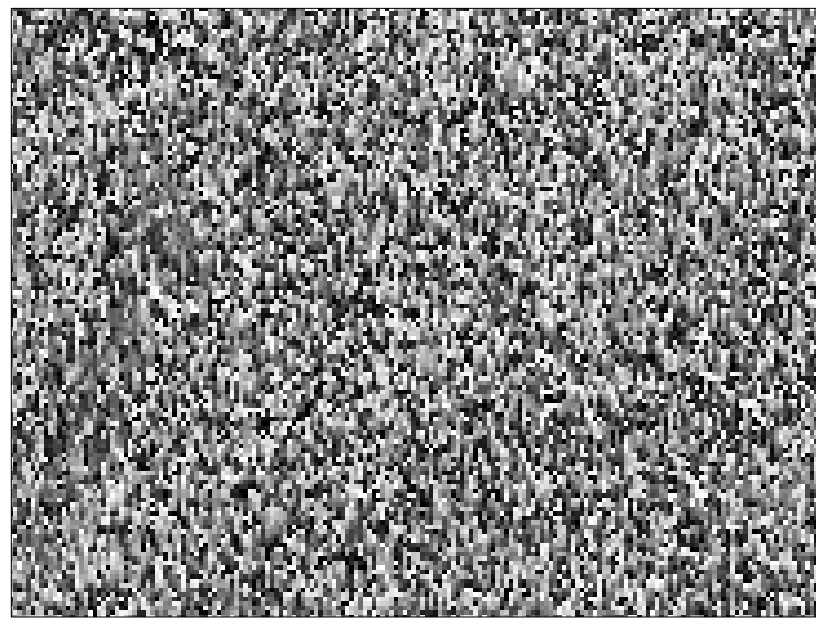
Quindi la stessa superficie appare sull'immagine con un valore di  $\sigma$  e un tono di grigio diversi in funzione dell'angolo d'incidenza locale!

## Dati del SAR

Un'immagine SAR è un insieme di pixels caratterizzati da valori di **ampiezza e fase**

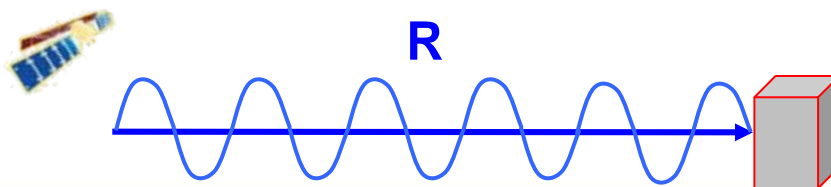


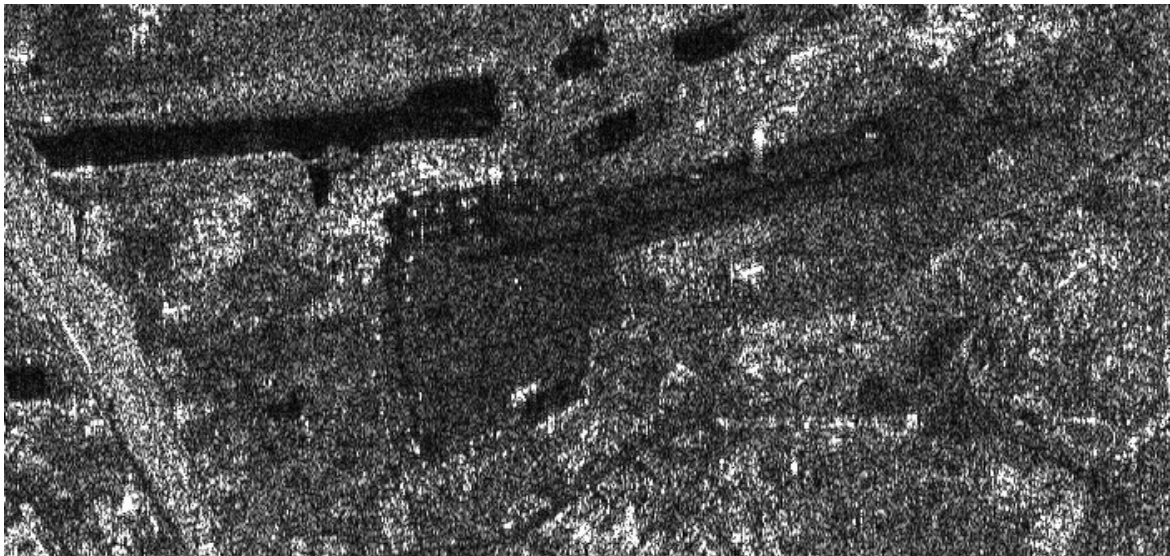
Ampiezza



Fase (conosciuta con modulo  $2\pi$ )

La fase è legata alla **distanza sensore-bersaglio**





SAR



OTTICO



# Immagine SAR singola vs immagine SAR multipla

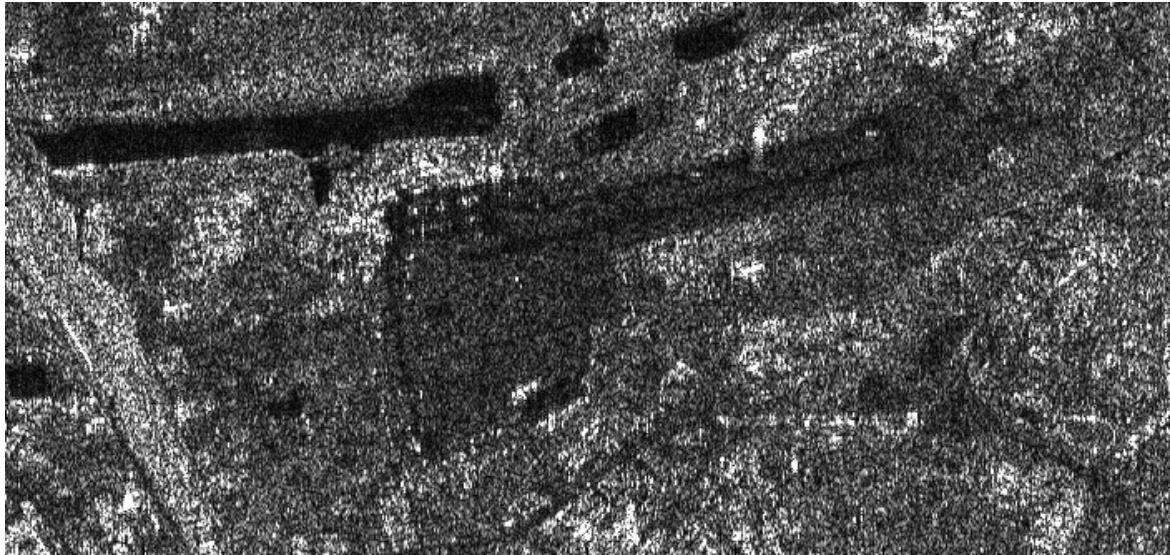


immagine SAR Singola



Immagine SAR multipla  
(minimo 6-7 immagini)

data la sua natura casuale,  
lo speckle si autoriduce  
drasticamente quando si  
integrano poche  
immagini radar

(C. Prati - POLIMI-TRE)





# Immagine ottica vs immagine SAR multipla



Immagine Pancromatica

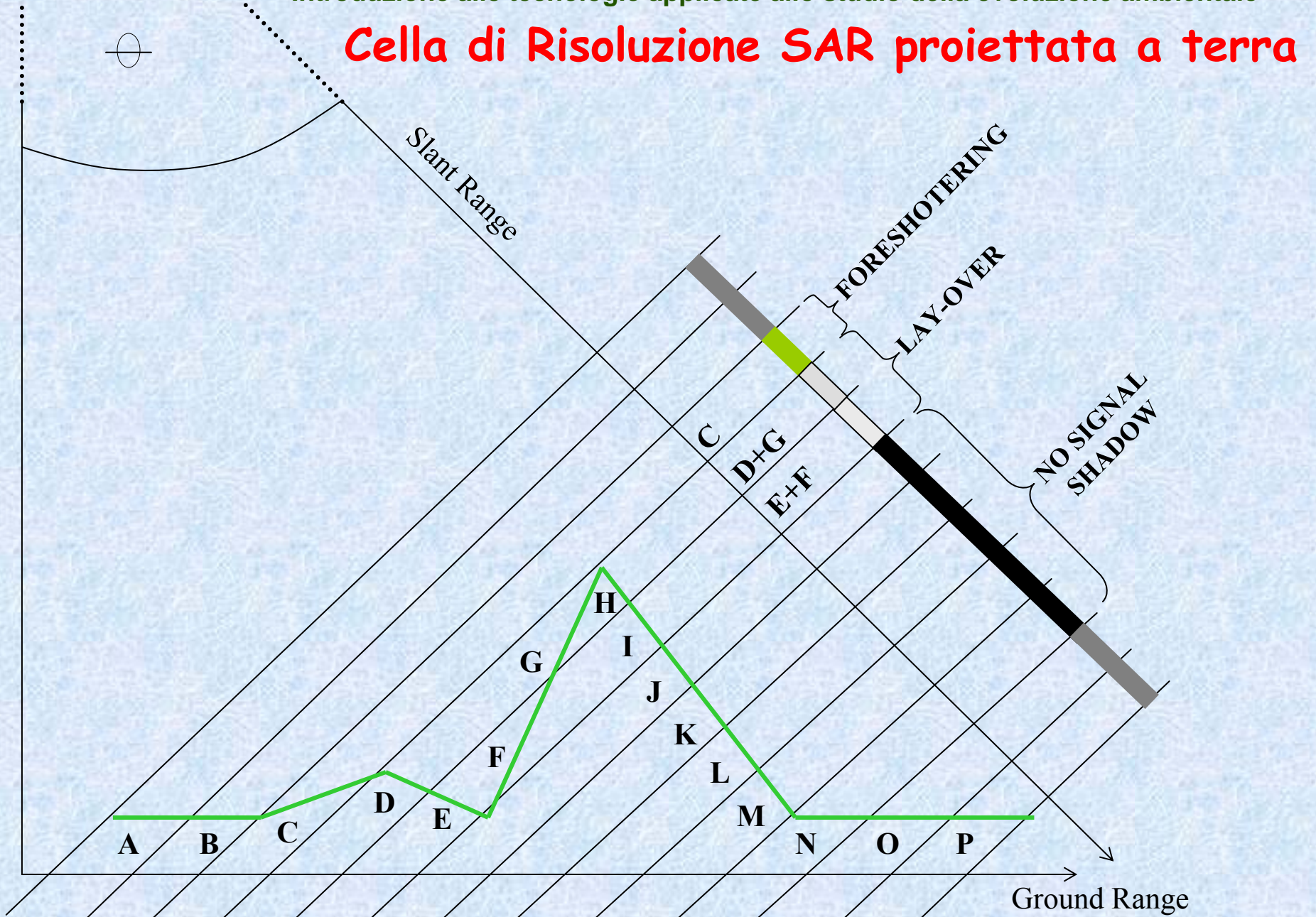


Immagine SAR multipla  
(minimo 6-7 immagini)

(C. Prati - POLIMI-TRE)

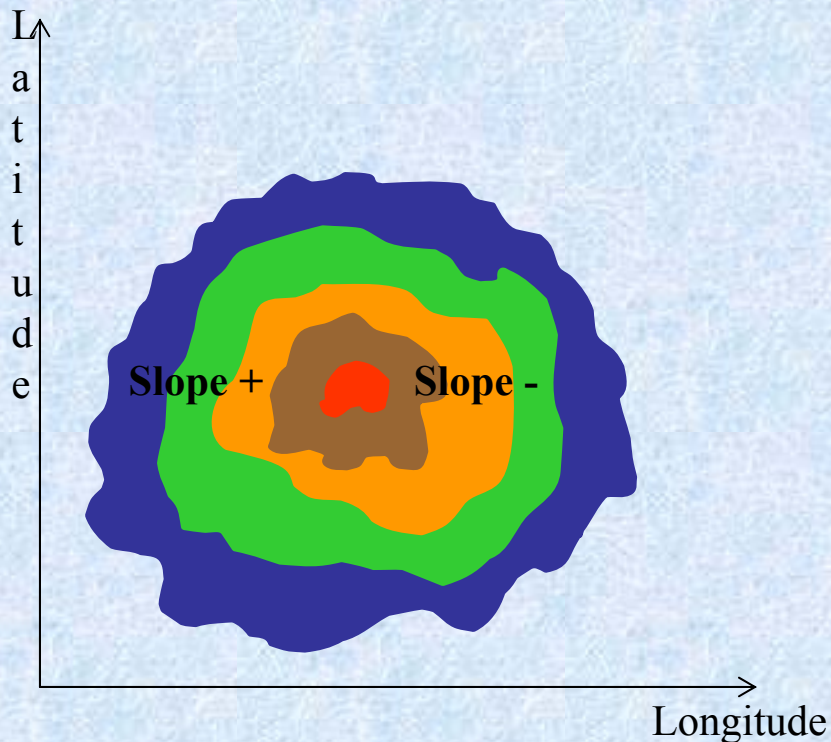


# Cella di Risoluzione SAR proiettata a terra

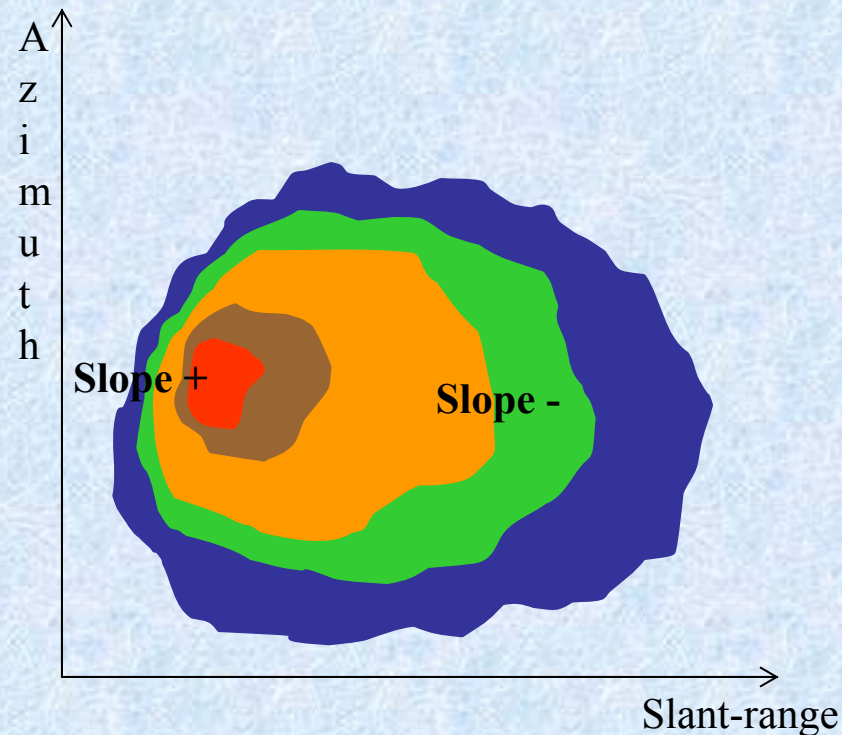


# Coordinate del SAR (obliquo vs nadir)

COORDINATE GEOGRAFICHE



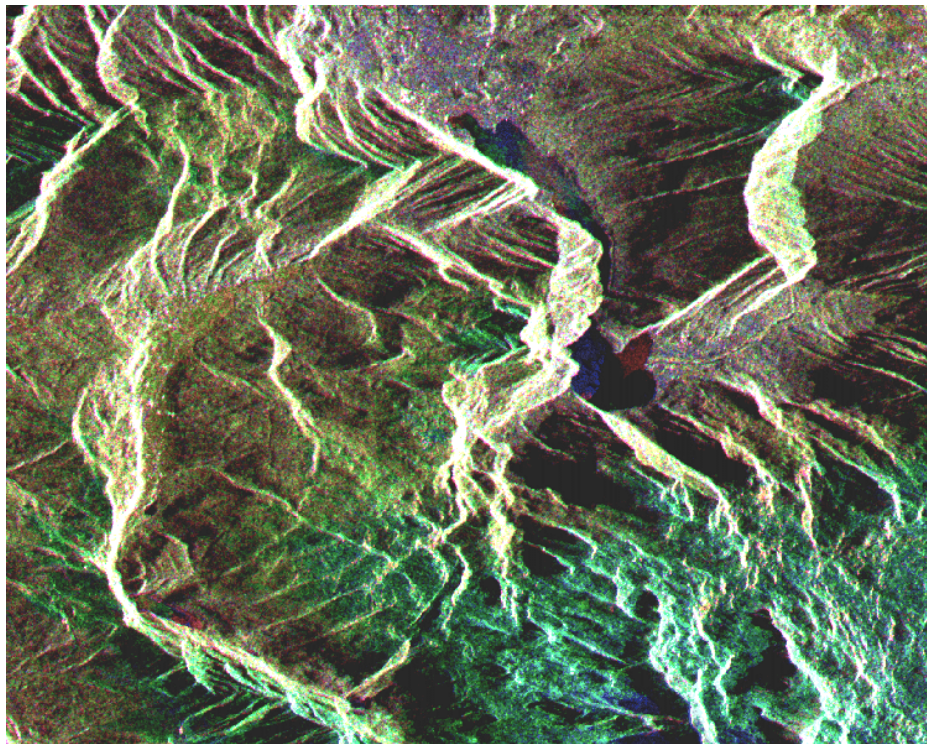
COORDINATE SAR





# Distorsione delle montagne causata dalla visione obliqua del SAR (Layover)

Immagine del SAR di ERS

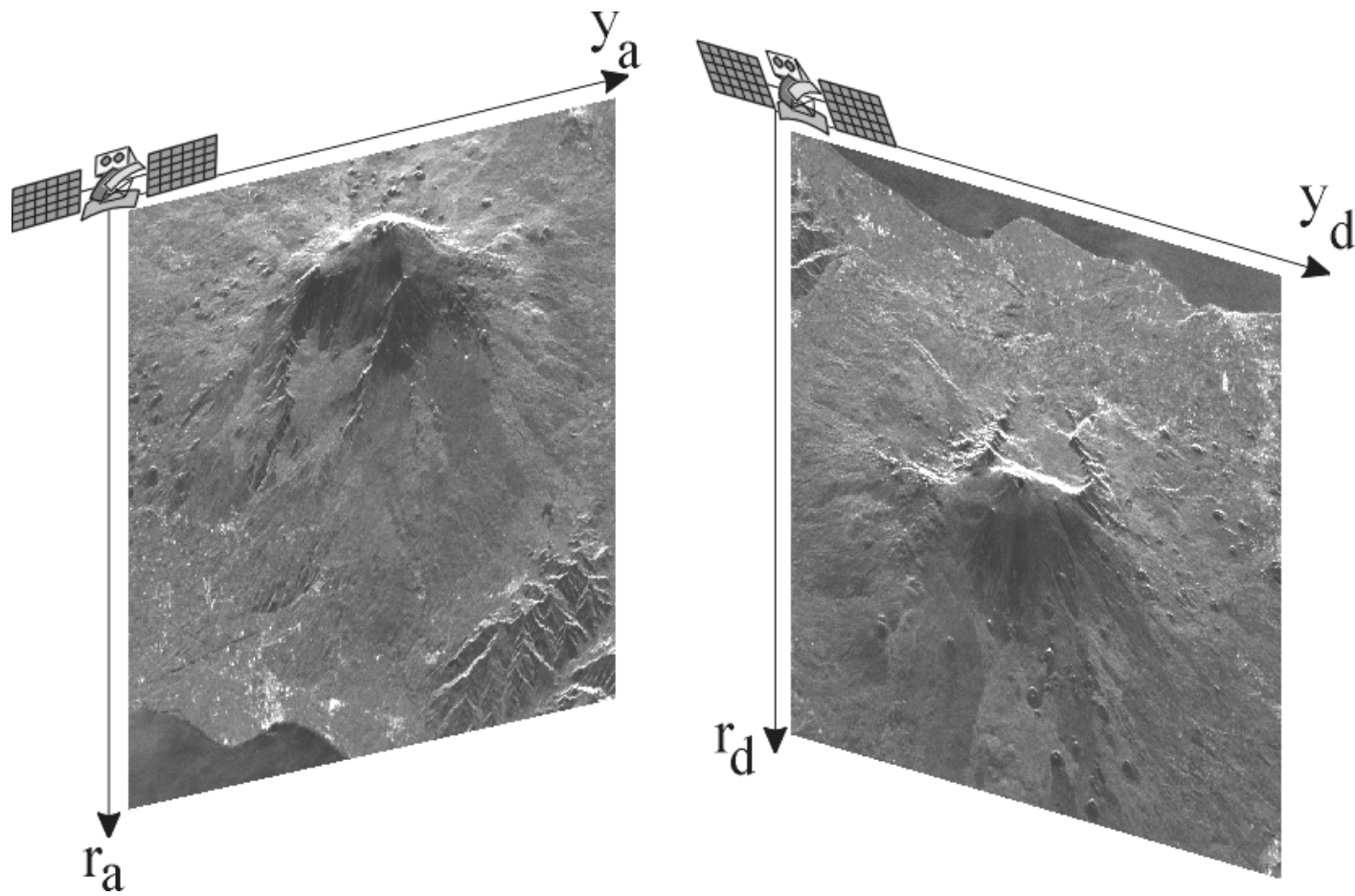


Mappa topografica





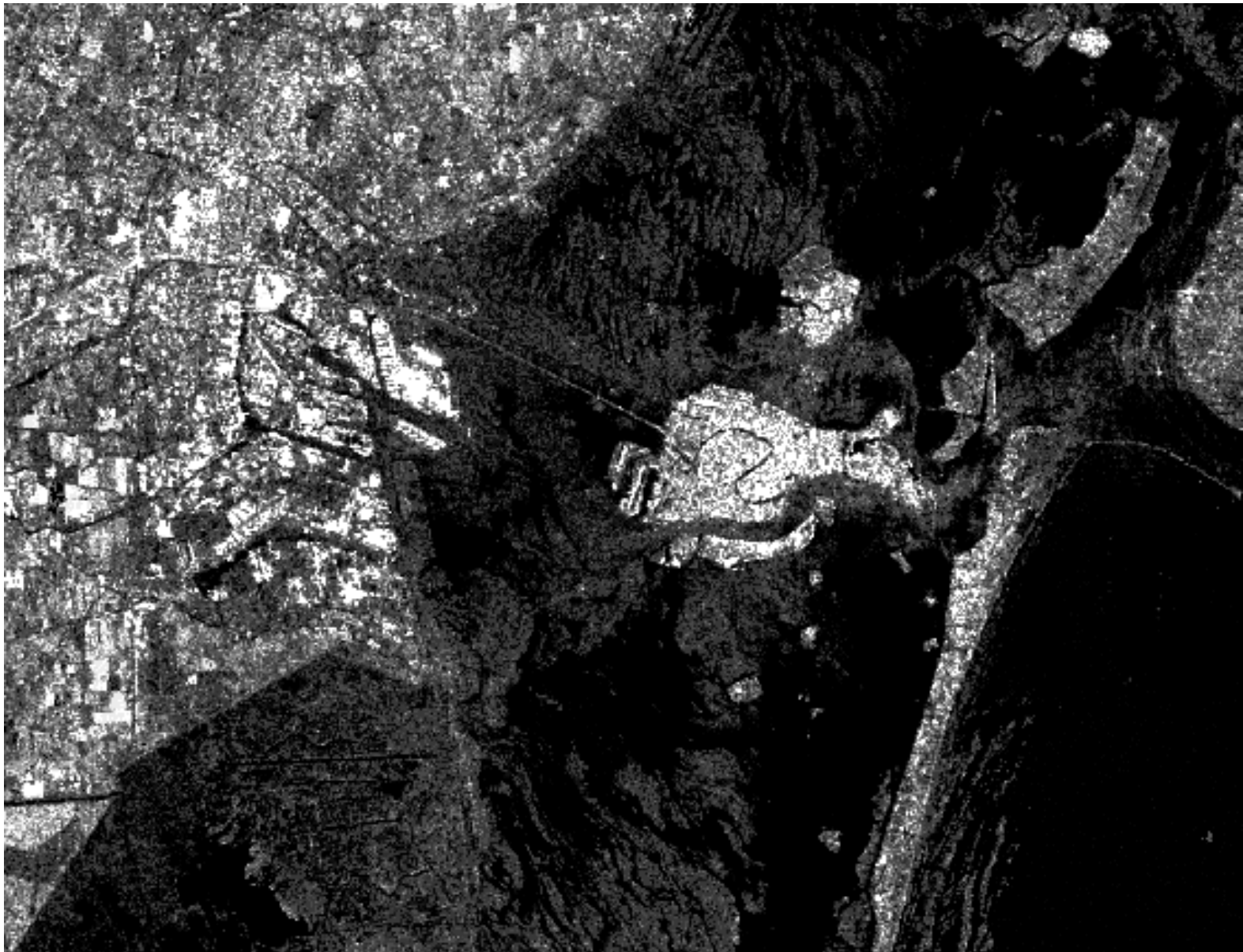
# Passaggi ascendenti e discendenti di ERS



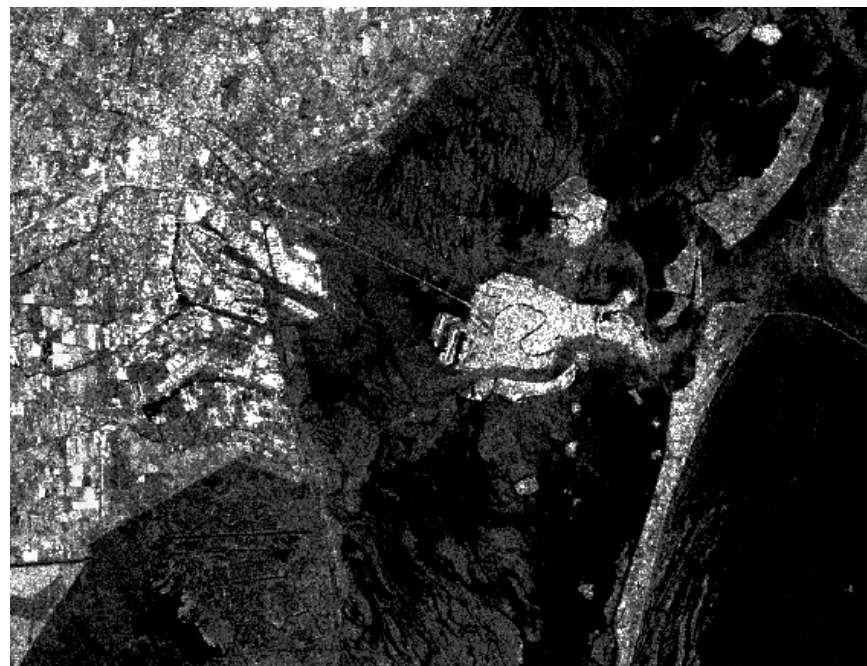
(C. Prati - POLIMI-TRE)







## Complementarietà tra Immagini Ottiche e Microonde (Radar)



Venezia, Italia

# Interazione degli impulsi del radar con i bersagli in funzione della lunghezza d'onda e delle dimensioni degli elementi chiave.

Come nel caso delle gocce di pioggia, quando gli impulsi radar illuminano una copertura boschiva, un territorio arido o un ghiacciaio interagiscono con gli elementi costitutivi di questi "bersagli" (foglie e rami, terra e sassi, fiocchi di neve o cristalli di ghiaccio, rispettivamente) e la loro penetrazione verso il basso attraverso di essi è funzione della  $\lambda$  radar con rispetto alle dimensioni degli elementi stessi.

Pertanto, l'informazione trasportata dalle eco di ritorno è riferita agli strati superficiali per le lunghezze d'onda più corte (Banda X) o via via sempre più profondi per lunghezze d'onda più lunghe (Banda C, S, L o P).

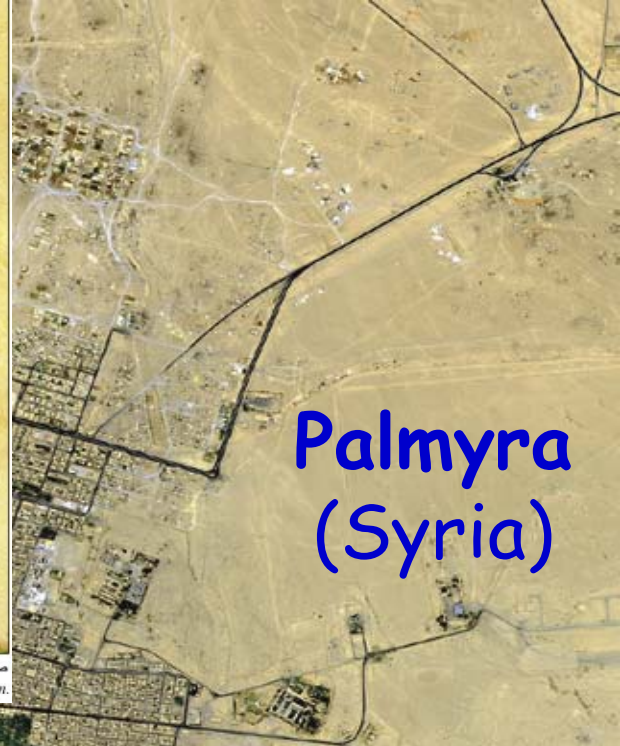
Tuttavia, dato l'alto valore della costante dielettrica dell'acqua, quando gli elementi superficiali sono umidi o addirittura bagnati gli impulsi radar interagiscono con il primo strato superficiale e non penetrano verso il basso.





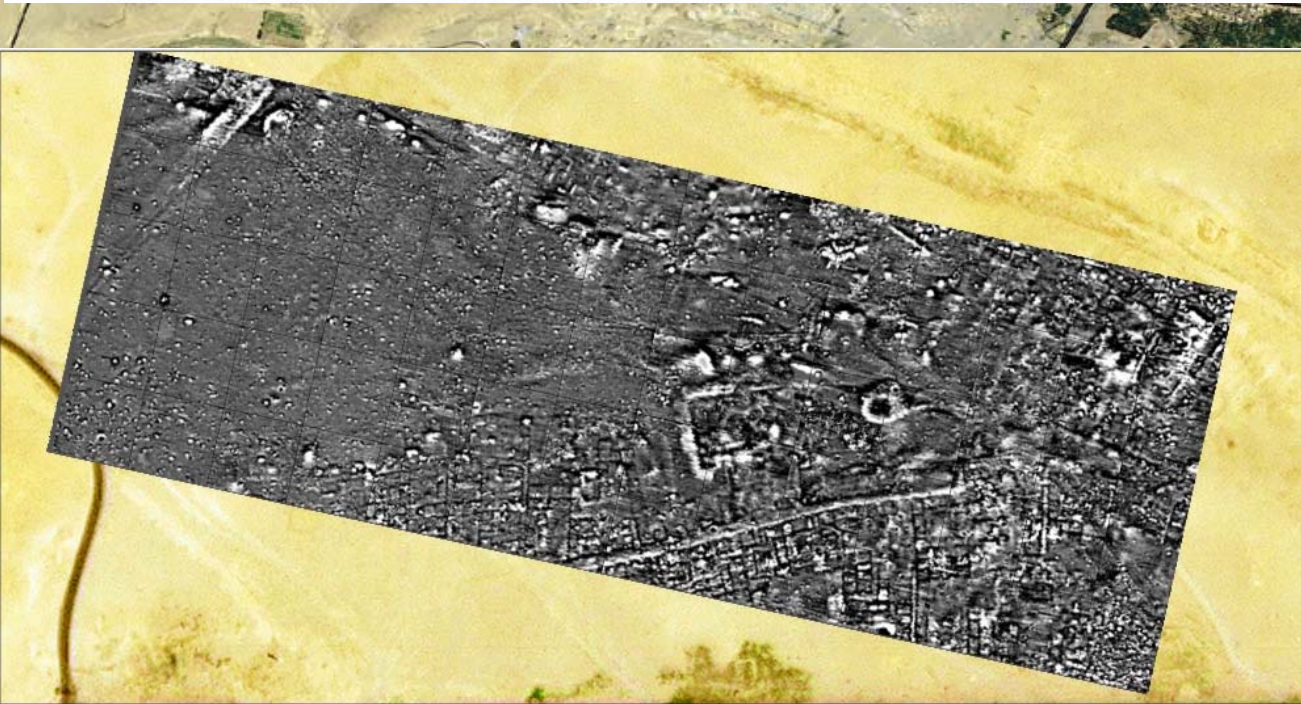
Palmyra  
(Syria)





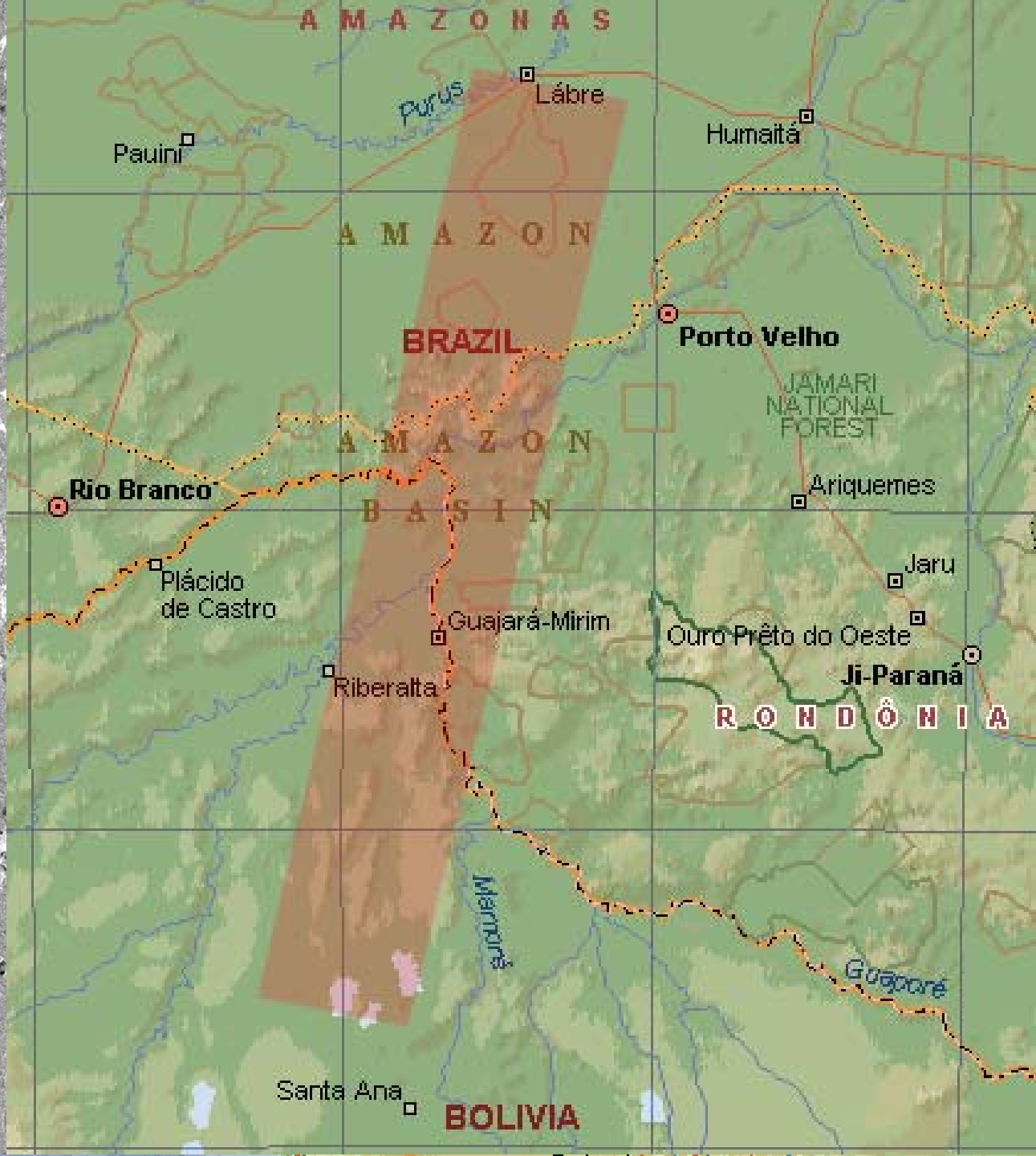
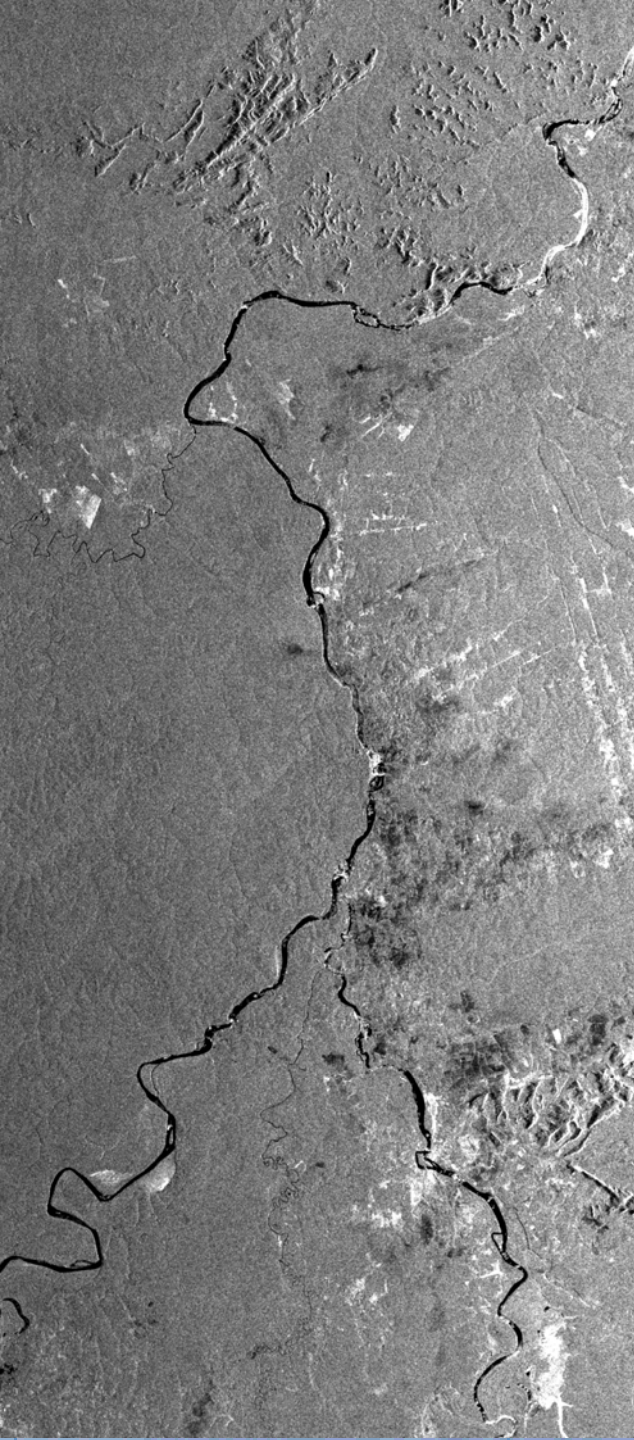
## Palmyra (Syria)

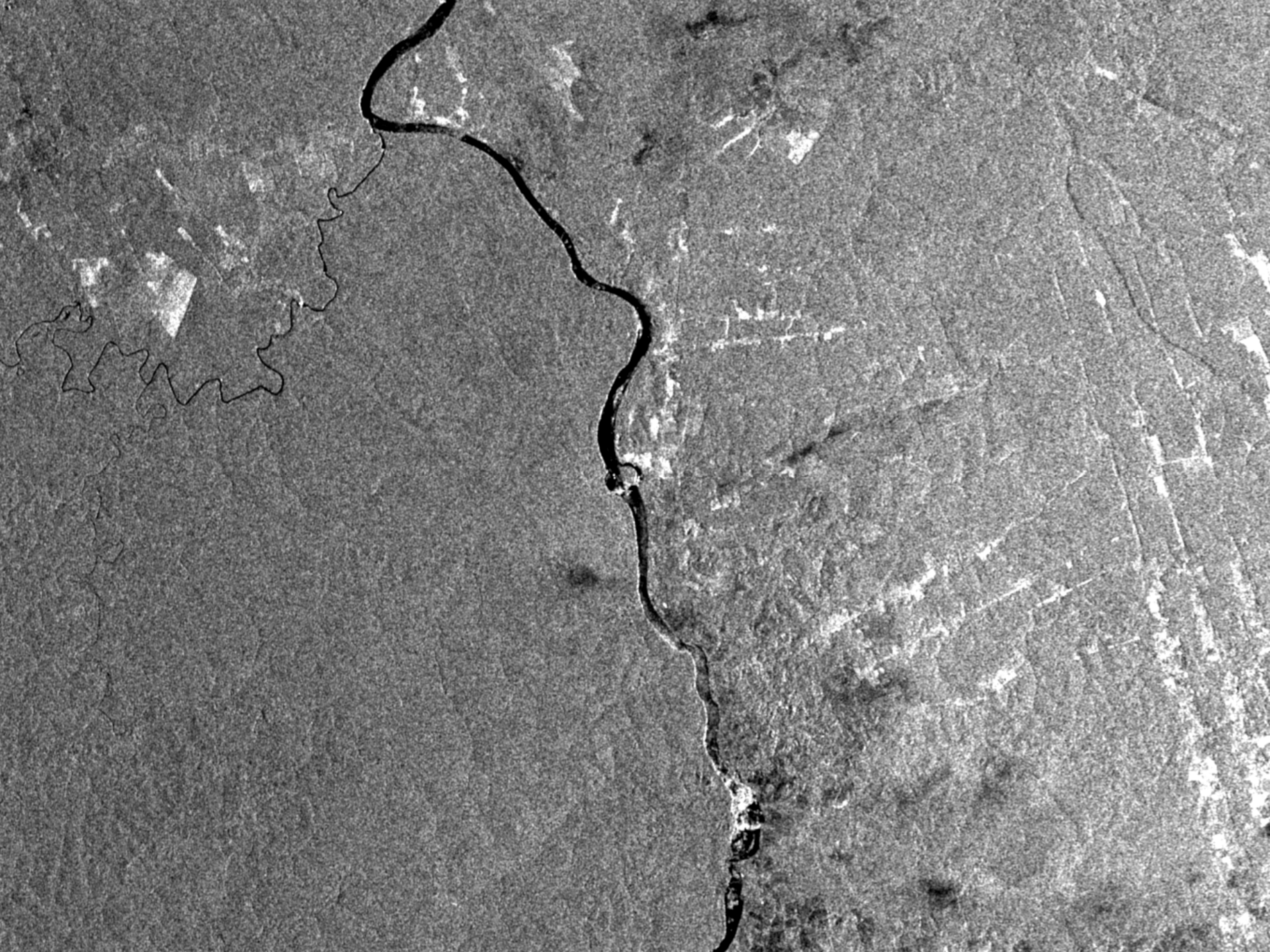
صورة فضائية بالألوان الحقيقية من التابع الصناعي إيكونوس لمنطقة قرب تدمر. وبسبب الظروف غير الملائمة لا تظهر النباتات أو التربة. وبسبب الارتفاع الشديد للشمس لا يمكن رؤية إشارات للمواقع الأثرية.  
*The real-colour IKONOS-image shows an area around Tadmor. Due to unfavourable conditions - no vegetation or soils - and high sun elevation no archaeological signs can be seen.*



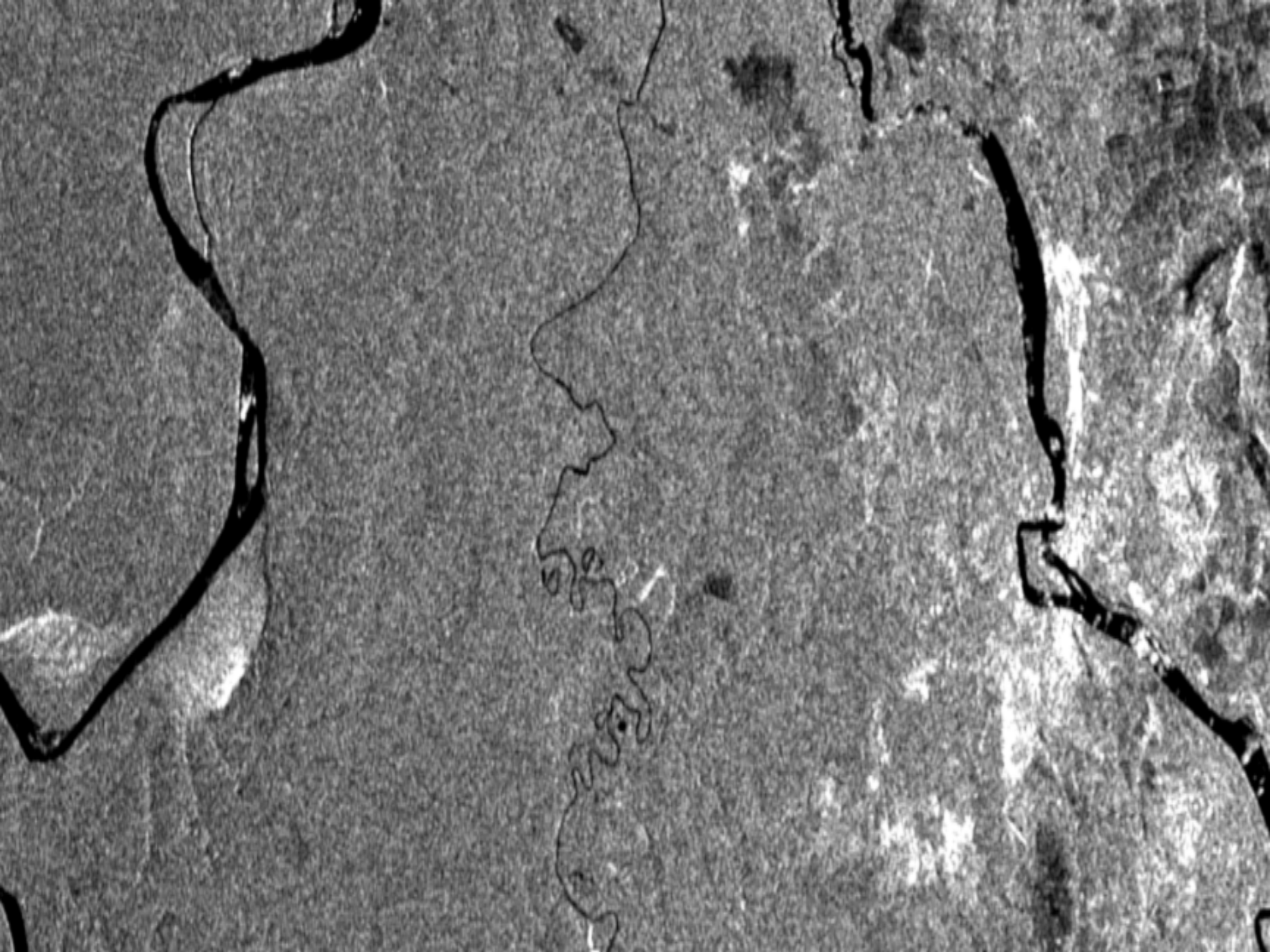
من خلال دراسة نفس المنطقة بالطرق الجيوفيزيائية يظهر تجمع سكني تغطيه الرمال وذلك دون اللجوء إلى أعمال الحفر.  
*Investigation of the same area as above with geophysical methods on the ground shows that houses, conplate ancient settlement is buried under sand.*







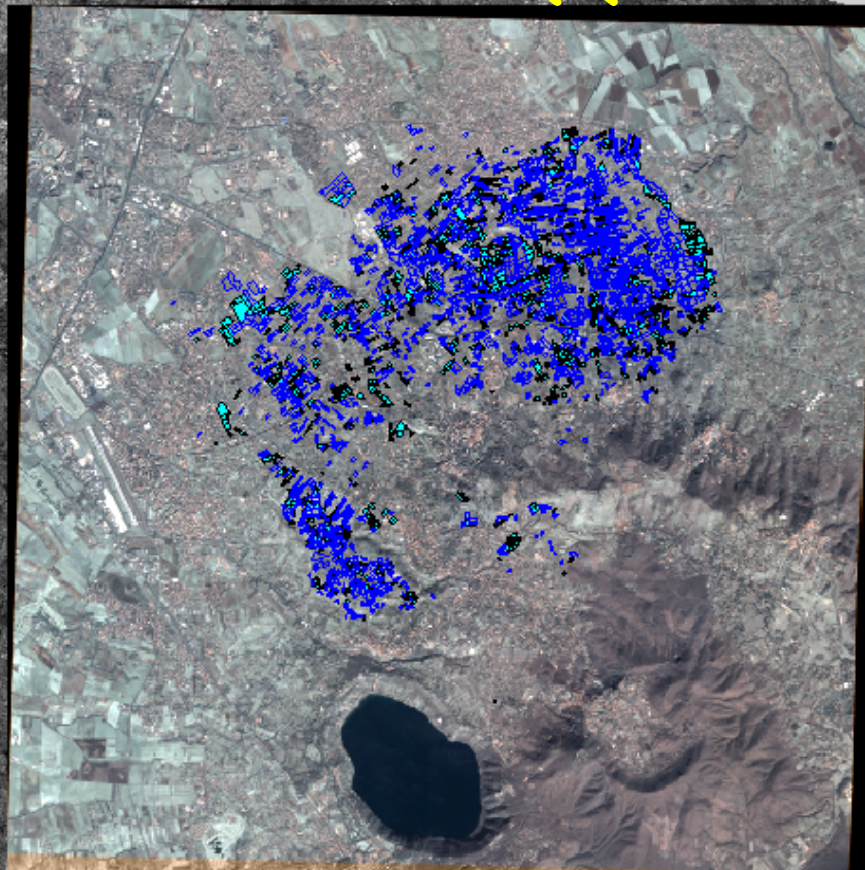






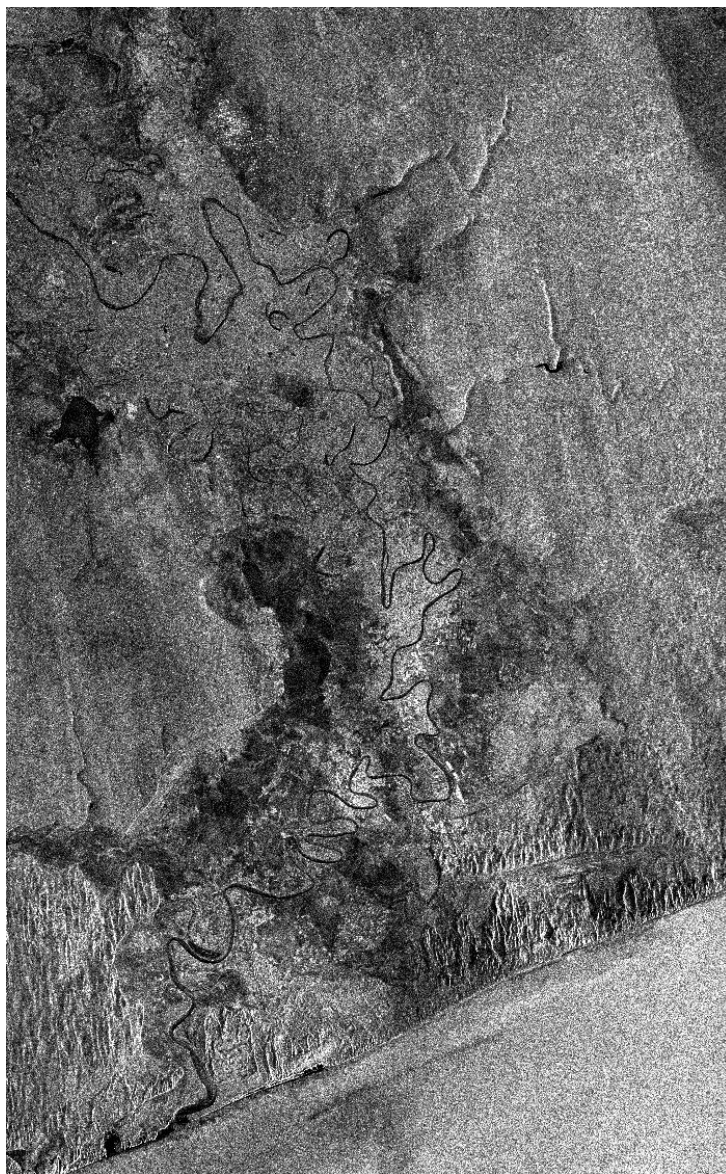


# Integrazione microonde (SAR) con ottico (QuickBird)





# **Osservando attraverso le nubi** **Inondazione in Mozambico**



Maurizi, ERS-2 SAR 27 aprile 1997



ERS-2 SAR 16 marzo 2000





# Sorvegliando lo sversamento di petrolio nel Mar Mediterraneo



Nave mentre sversa petrolio in mare



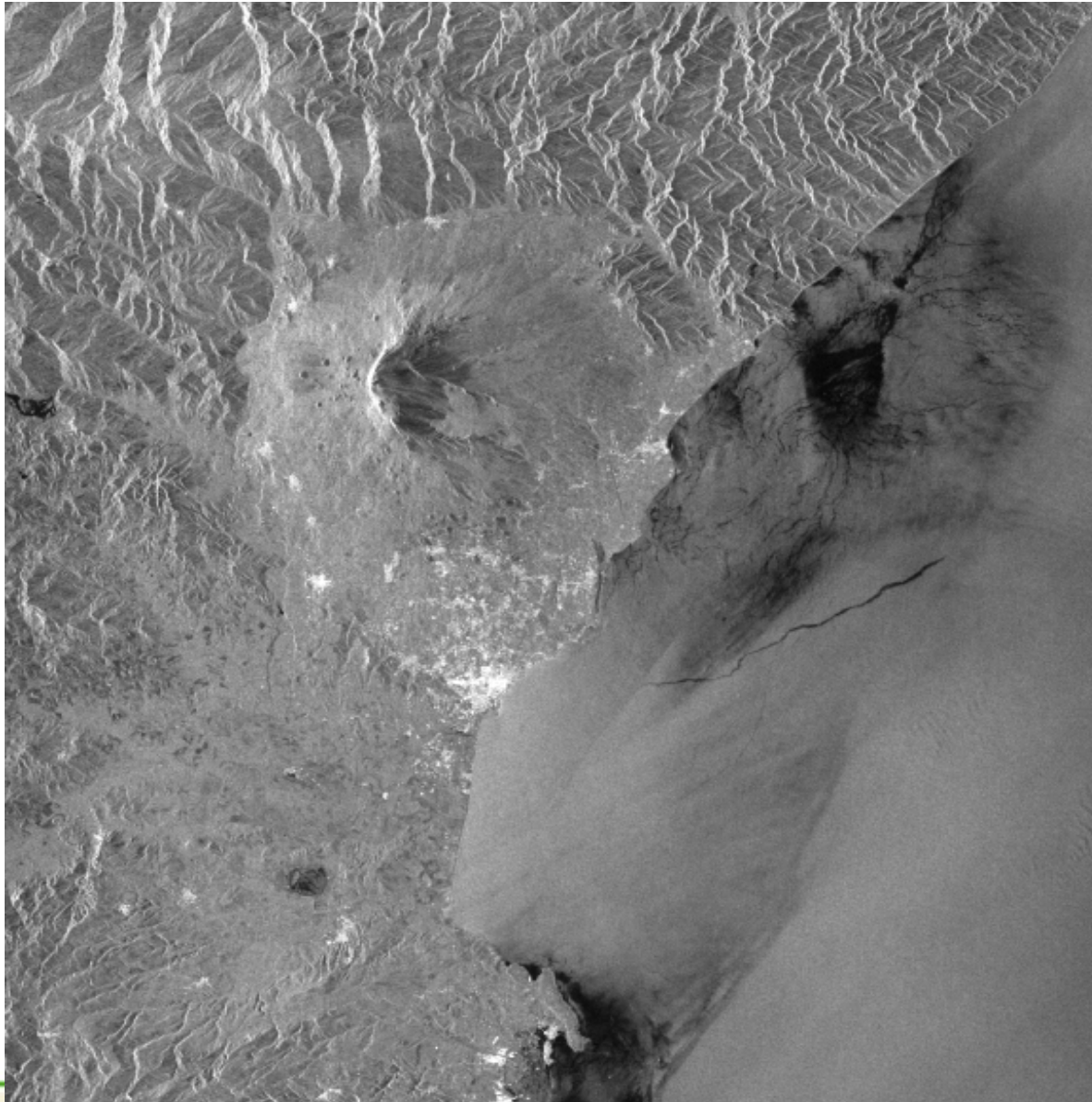
Come le chiazze di petrolio in mare appaiono nelle immagini SAR dell'ERS







# Protezione dell'ambiente costiero



Uso del radar a  
bordo dei satelliti  
europei ERS

8 aprile 1998  
23:16

**ITALIA**  
coste della  
Sicilia

Sversamento di  
petrolio causato da  
lavaggio illegale delle  
taniche prima  
dell'ingresso nel porto  
di Catania

# Vantaggi e limiti dell'osservazione della Terra dallo spazio (telerilevamento)

## *Vantaggi :*

- + Visione sinottica, ma dettagliata, del territorio
- + Osservazione oggettiva e sistematica a scala globale
- + Coerenza dei dati nel tempo e nello spazio
- + Elaborazione operativa eseguibile con metodicità

## *Limiti :*

- Interpretazione spesso non immediata
- Passaggio non frequente per satelliti in orbita polare

**Importante:** SI OTTIENE IL MASSIMO VANTAGGIO QUANDO I DATI SPAZIALI SONO INTEGRATI CON ALTRI TIPI DI DATI (MISURE SUL CAMPO, FOTO AEREE, DATI AMMINISTRATIVI, STATISTICHE, MAPPE, ecc.)



# Vantaggi e limiti dell'osservazione della Terra dallo spazio (telerilevamento)

## *Vantaggi :*

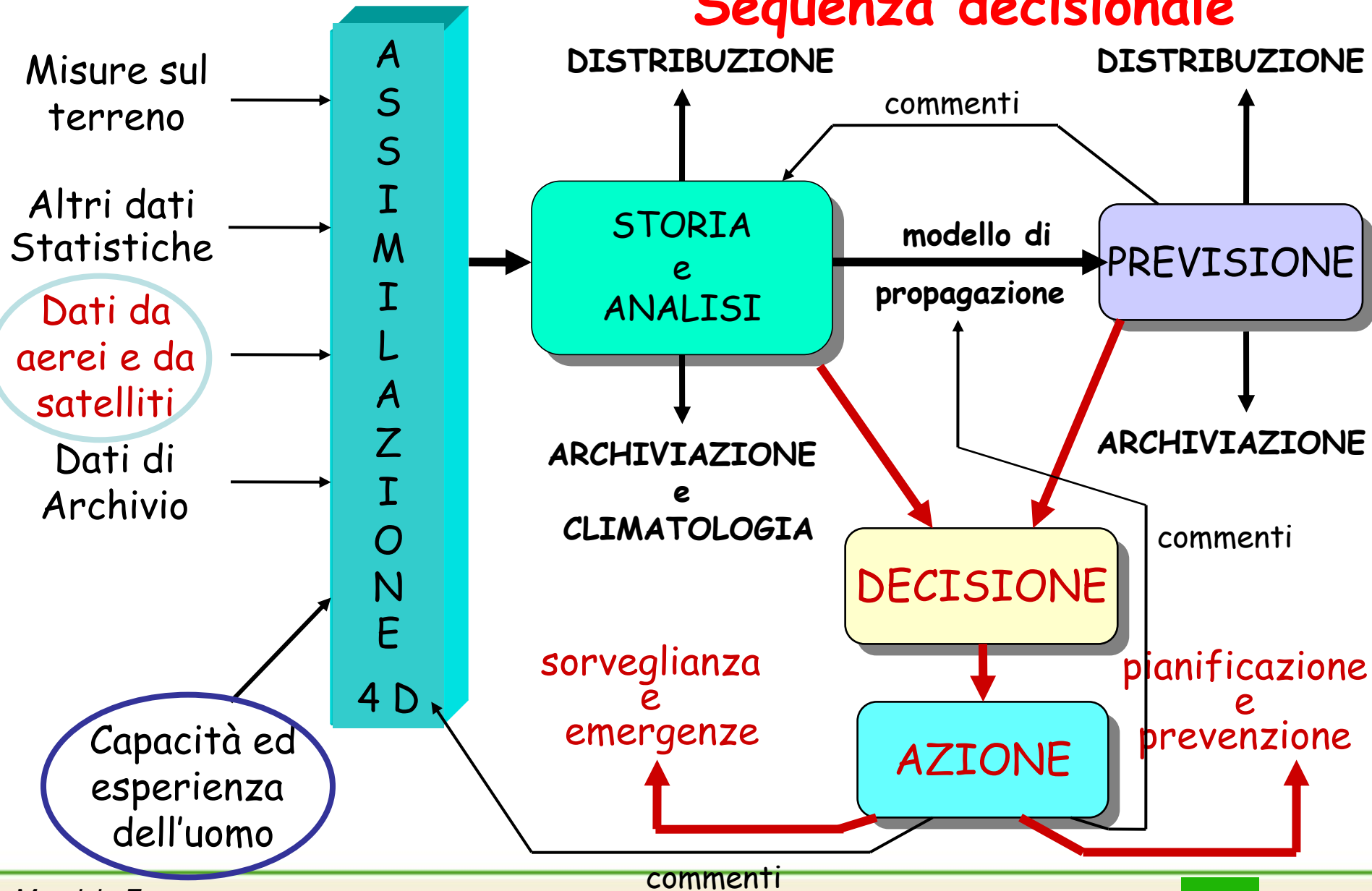
- + Visione sinottica, ma dettagliata, del territorio
- + Osservazione oggettiva e sistematica a scala globale
- + Coerenza dei dati nel tempo e nello spazio
- + Elaborazione operativa eseguibile con metodicità

## *Limiti :*

- Interpretazione spesso non immediata
- Passaggio non frequente per satelliti in orbita polare

**Importante:** SI OTTIENE IL MASSIMO VANTAGGIO QUANDO I DATI SPAZIALI SONO INTEGRATI CON ALTRI TIPI DI DATI (MISURE SUL CAMPO, FOTO AEREE, DATI AMMINISTRATIVI, STATISTICHE, MAPPE, ecc.)

# Sequenza decisionale





## Quando l'osservazione dallo spazio è utile

- **PRIMA**
  - raccolta della storia ambientale della zona
  - simulazione di una situazione di interventocioè: prevenzione  
*p.es. modelli digitali del terreno (DTM)*  
*carte di vulnerabilità*
- **DURANTE**
  - osservazione dell'evoluzione di un evento
  - valutazione dell'impatto sul territorio
- **DOPO**
  - valutazione delle conseguenze di un evento
  - verifica e quantificazione dell'area coinvolta
  - aggiornamento delle statistiche
  - miglioramento delle procedure.

Il contributo dell'Italia: si materializza attraverso l'*Agenzia Spaziale Europea* (missioni METEOSAT, ERS, ENVISAT) e l'*Agenzia Spaziale Italiana* (sistema COSMO-SKYMED).