

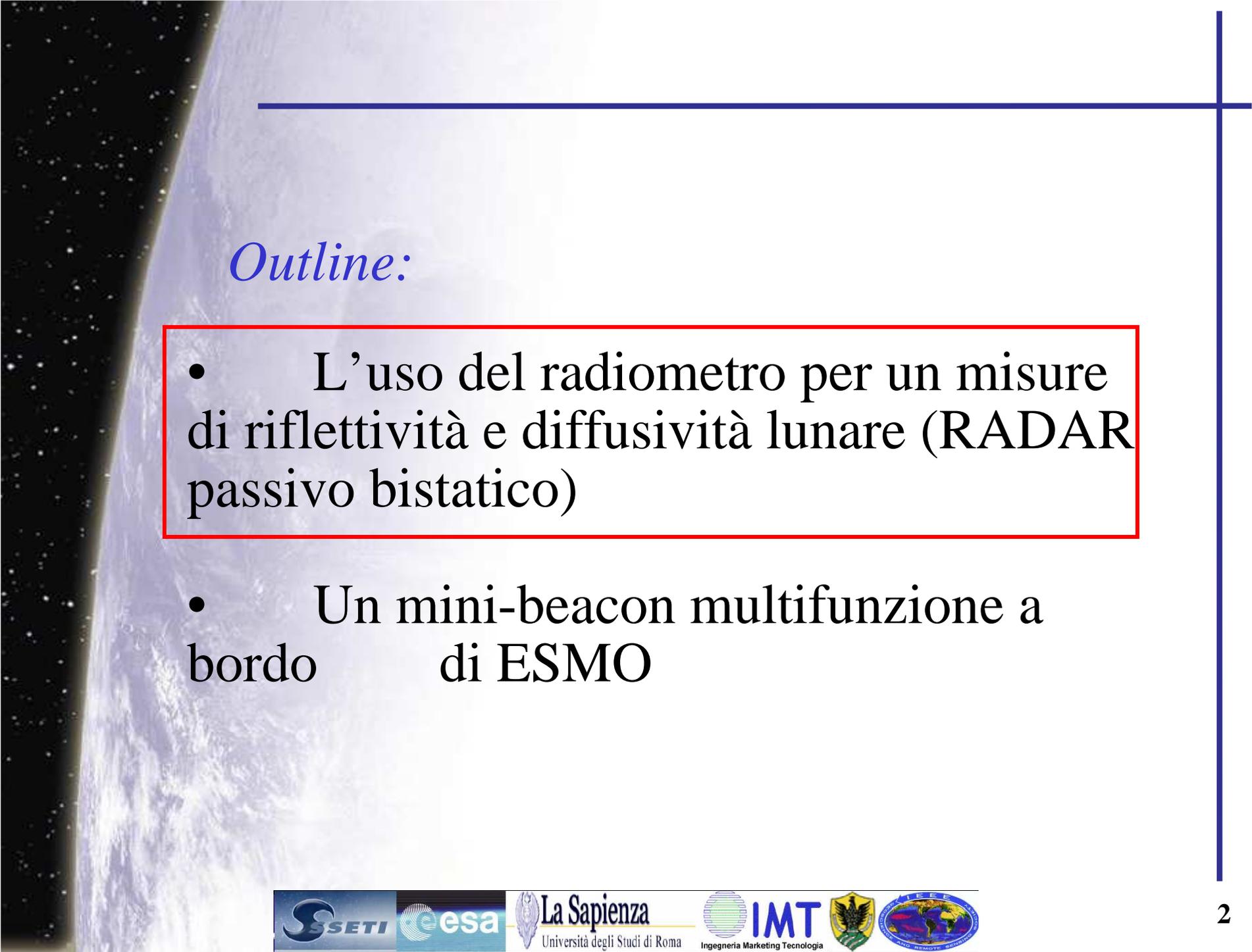


# Possibili esperimenti aggiuntivi nel progetto ESMO

Piero Tognolatti, Università dell'Aquila

Paolo Pitacco, AMSAT Italia

*2<sup>a</sup> giornata di studio su ESMO, Roma 20 marzo 2007*

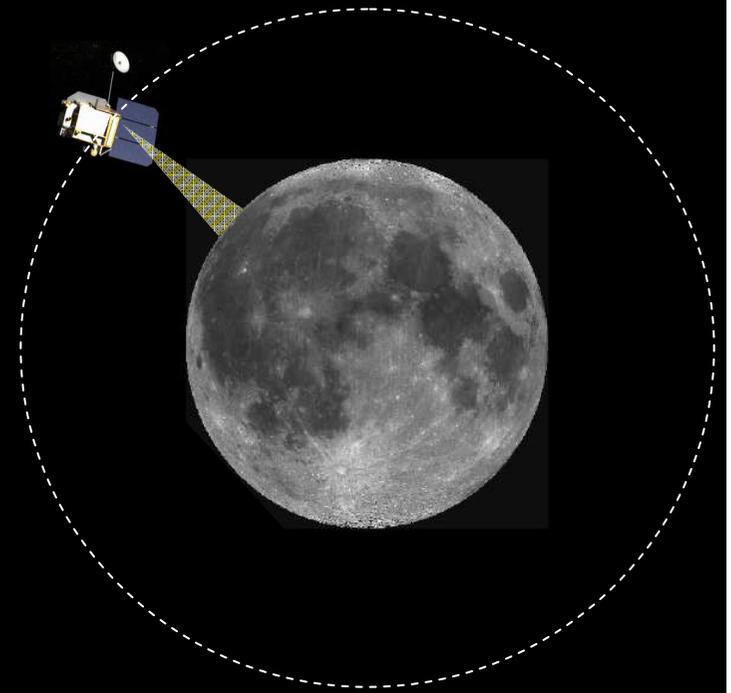


---

*Outline:*

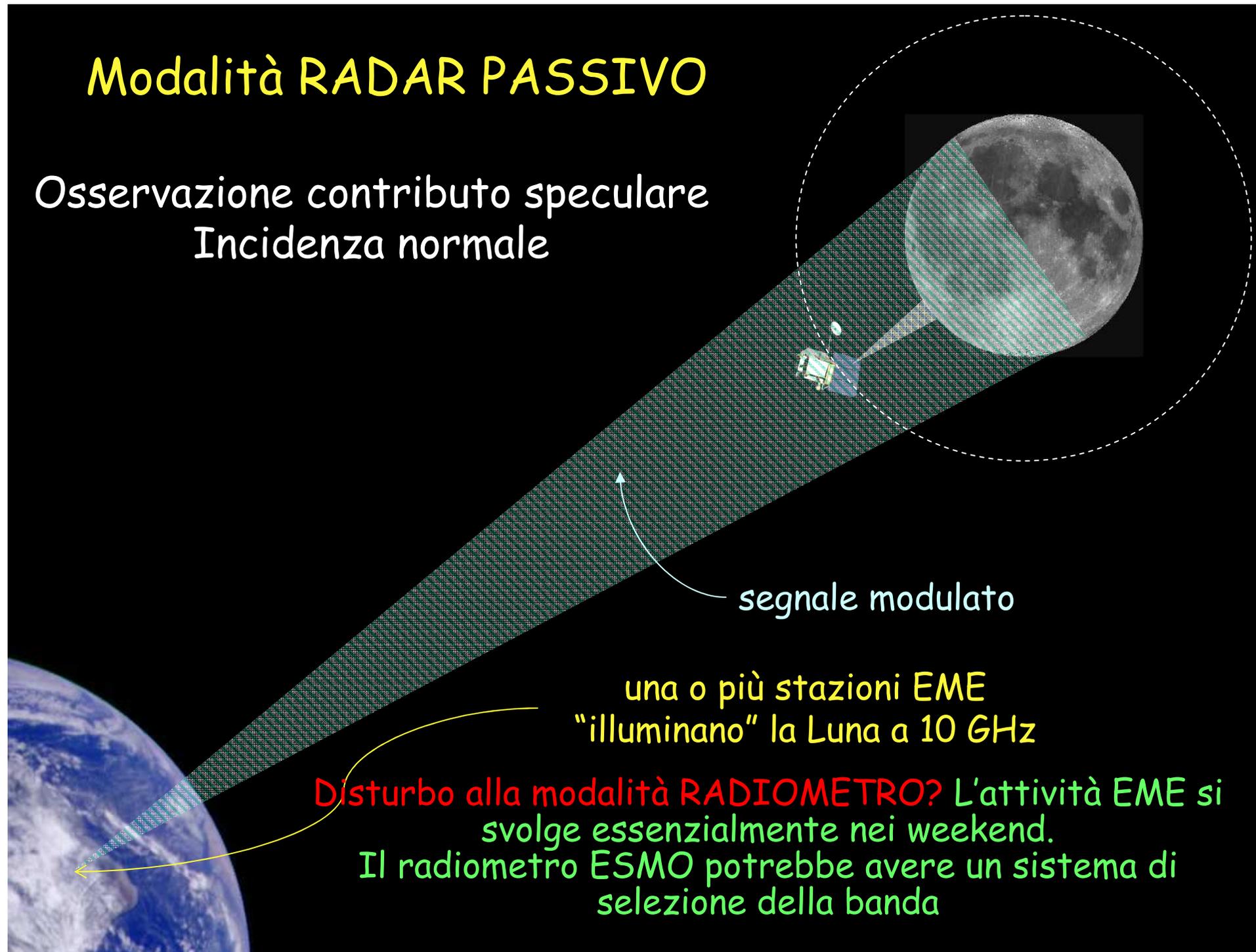
- L'uso del radiometro per un misure di riflettività e diffusività lunare (RADAR passivo bistatico)
- Un mini-beacon multifunzione a bordo di ESMO

# Modalità RADIOMETRO



# Modalità RADAR PASSIVO

Osservazione contributo speculare  
Incidenza normale

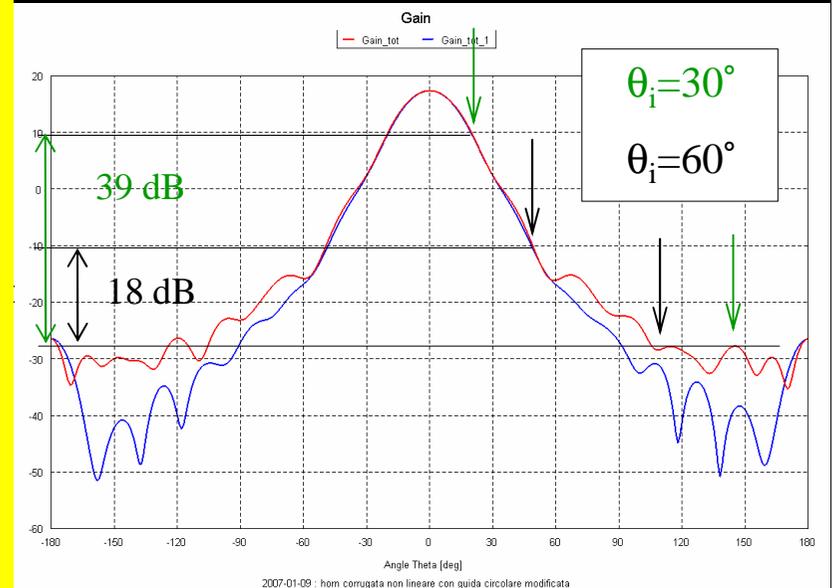
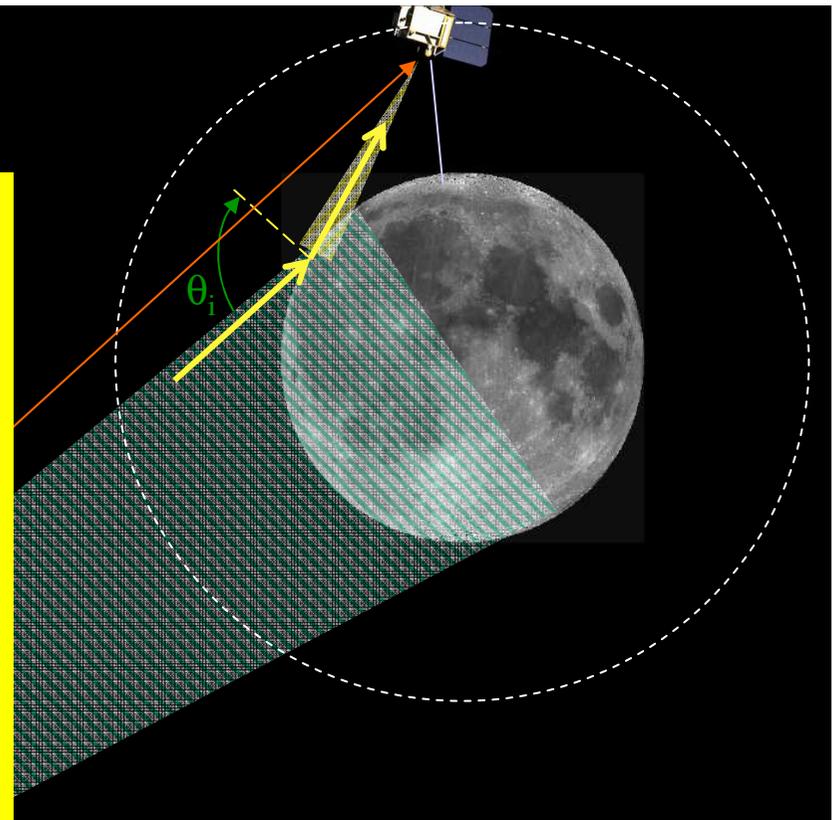


# Modalità RADAR PASSIVO

Si riesce ad osservare l'angolo di Brewster? ( $\sim 60^\circ$ )

- ☹ il segnale riflesso dalla Luna viene osservato con bassi valori del guadagno d'antenna
- ☹ scarso isolamento tra segnale riflesso dalla Luna e segnale incidente su ESMO
- ☹ A 10 GHz la rugosità della Luna cancella il fenomeno dell'angolo di Brewster?
- 😊 ... tra breve una soluzione a questi problemi...

(\*) Tyler G. L. Brewster angle of the lunar crust.  
*Nature*, 219, 1243–1244, 1968 describe misure a 136 MHz effettuate da Explorer 35



Radiometro "total power"  $B=50$  MHz (banda equivalente di rumore)  
 $T_{\text{sys}}=T_a+T_{\text{rec}}=300\text{K}+100\text{K}=400$  K  $\tau=1$  s (tempo di integrazione)  
Risoluzione radiometrica  $\Delta T=0.06$  K  
Guadagno d'antenna 16 dBi

Modalità **RADIOMETRO** (assenza di illuminazione)  
Il radiometro, opportunamente calibrato, misura una  $T_a=300\text{K}$ .  
La potenza raccolta dal radiometro è  $KT_{\text{sys}}B= -125.6$  dBW

Modalità **RADAR PASSIVO** - contributo speculare (presenza di illuminazione)  
In questo caso la potenza ricevuta è la somma di quella termica, prima calcolata, e di quella dovuta al segnale che illumina la Luna.  
La potenza totale misurata è:  $KT_{\text{sys}}B + \Delta P$  dove  $\Delta P = -142$  dBW Ma  $\Delta P$  rappresenta un incremento, letto sulla scala delle temperature misurate dal radiometro, che è pari a 9.16 K.

EIRP TX : 77 dBW (antenna 7 metri, TX 150 W, come da IQ4DF di Bagnara )  
 $R= 370\ 000$  km  $F=10$  GHz

Luna supposta con riflettività -12 dB (valore di letteratura)

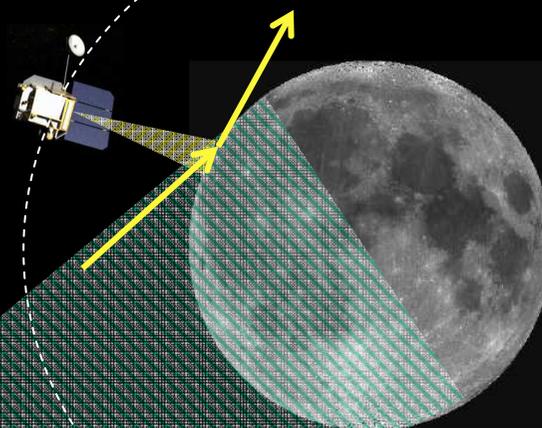
# La stazione EME di Bagnara di Romagna



## Modalità RADAR PASSIVO

Osservazione contributo diffuso

In questo caso  $\Delta P$  è più piccolo !



Una modalità "coerente" dovrebbe consentire un certo guadagno di processo. Il radiometro, opportunamente comandato, campiona  $T_{sys}$  con un ritmo adeguato e la trasferisce a Terra, dove la comunità dei radioamatori provvede a correlarla con la copia del segnale trasmesso. In alternativa il processing potrà essere on board, riducendo il datarate verso Terra.

# Modalità RADAR PASSIVO

Osservazione contributo diffuso



La sensibilità della misura può essere aumentata ricorrendo a più stazioni di illuminazione, con involucri di modulazione identici, ad eccezione del callsign. La sincronizzazione delle stazioni può essere basata sul tempo GPS o sul segnale del minibeacon UHF che si vuole imbarcare su ESMO. In quest'ultimo caso è necessario valutare gli effetti della ionosfera sul timing UHF.

# Modalità RADAR PASSIVO

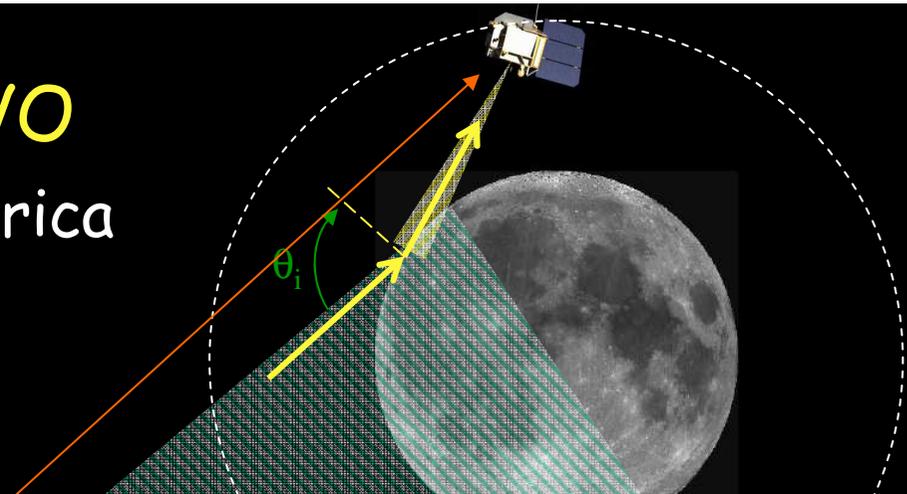
Osservazione contributo diffratto



In questo caso "estremo" il satellite rimane nella posizione d'interesse per un tempo breve. Tale tempo potrebbe essere insufficiente per ottenere il guadagno di processo richiesto. Si può pensare di coinvolgere stazioni di Terra con maggiore EIRP (stazioni scientifiche?). L'antenna del radiometro dovrebbe essere depuntata, al fine di presentare il massimo guadagno in direzione dell'orizzonte lunare. Questa condizione potrebbe essere ottenuta con una modifica d'assetto di ESMO a fine missione!

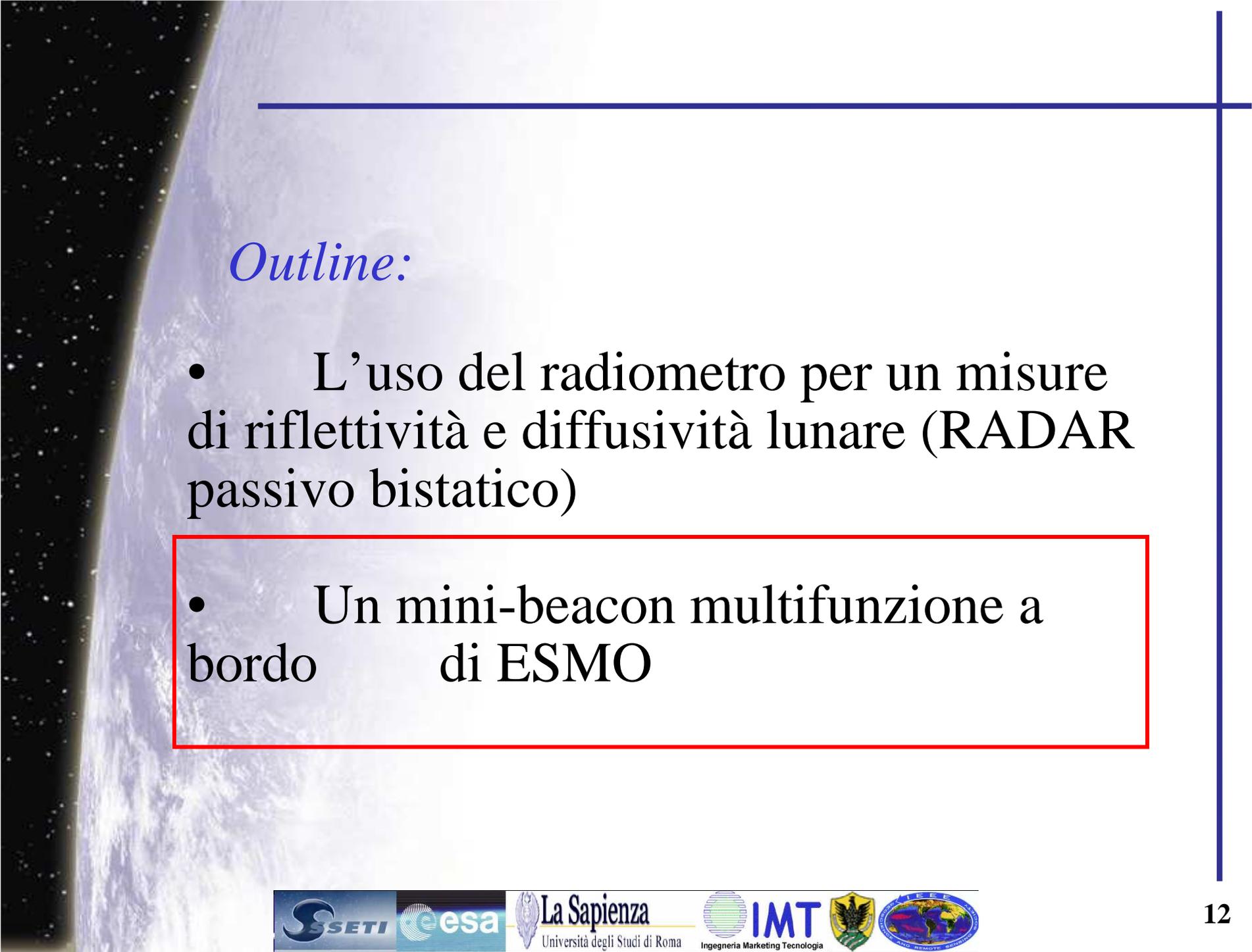
## Modalità RADAR PASSIVO

Misura della Costante Dielettrica  
mediante osservazione  
dell'Angolo di Brewster



☺ Le difficoltà prima evidenziate possono essere superate grazie a:

- aumento di S/N dovuto alla ricezione coerente dell'involuppo
- illuminazione simultanea da più stazioni
- separazione del contributo riflesso da quello diretto su ESMO per i quali  $\Delta\tau \cong 0.5 \text{ ms}$
- rimane il quesito: a 10 GHz si riesce a osservare il nullo dovuto all'angolo di Brewster? Sarà opportuno effettuare una previsione analitica.
- le stazioni di Terra sono in grado di controllare la polarizzazione? E' opportuno prevedere un upgrade delle stazioni.



## *Outline:*

- L'uso del radiometro per un misure di riflettività e diffusività lunare (RADAR passivo bistatico)
- Un mini-beacon multifunzione a bordo di ESMO

# *La proposta di AMSAT-I*

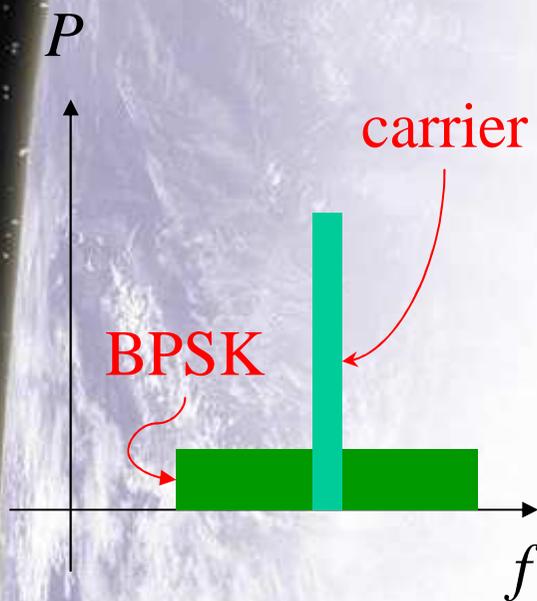
- Un mini-beacon da ospitare a bordo di ESMO, funzionante in banda UHF (435MHz, nel segmento spazio-terra IARU) che consenta principalmente di:
  - Fornire informazioni base (telemetria) sul satellite
  - Essere ricevuto con stazioni relativamente “semplici”
  - Essere utilizzato nell’esperimento di “radar passivo” a 10 GHz
  - Consentire misure di costante dielettrica lunare in banda UHF, ripetendo per gli studenti l’esperimento di Explorer 35

## *Finalità del mini-beacon*

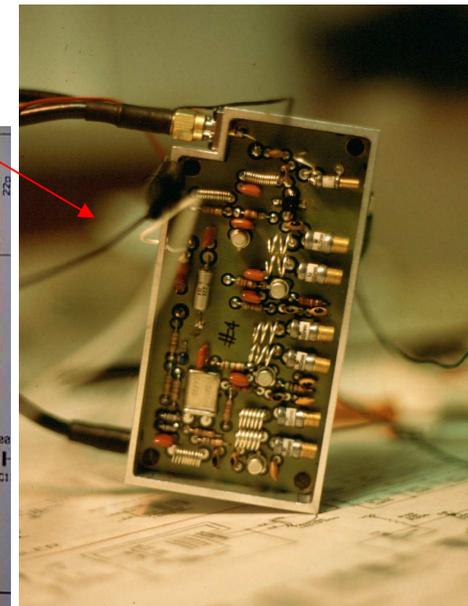
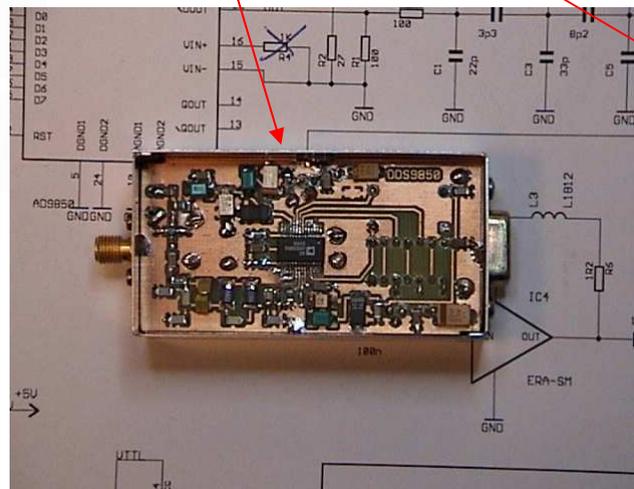
- Educazionale e divulgativo: consente ad un numero elevato di stazioni (radioamatori, scuole, università) di ascoltare ESMO, sia durante la fase di trasferimento che durante la missione. Per la comunità internazionale dei radioamatori potrebbe essere la prima missione lunare!
- Downlink di telemetria essenziale
- Misure di Doppler shift da parte di un numero elevato di stazioni di Terra
- Trasmissione del segnale di sincronizzazione per l'esperimento di illuminazione a 10 GHz e del segnale per la correlazione dell'involuppo
- Misure dell'angolo di Brewster a 435 MHz

# Caratteristiche del mini-beacon

- Generatore/modulatore basato su DDS low-power
- Potenza TX 1 W
- Antenna patch (doppia polarizzazione?)
- Modulazione BPSK e codifica opportuna (Turbo code?)
- Portante residua, modulabile off/on
- Completamente riprogrammabile da Terra



Esempio di beacon  
realizzato da AMSAT-I



# *Caratteristiche delle stazioni riceventi*

**Stazioni di classe alta**, *idonee a ricevere la telemetria e a misure Doppler e misure di angolo di Brewster*

- array di Yagi 4x21 elementi
- sistema di puntamento Az/El asservito
- LNA
- ricevitore commerciale per radioamatori
- demodulatore DSP (su PC)
- costo dell'ordine di 2.5 k€

**Stazioni di classe bassa:**

- antenna Yagi a pochi elementi
- puntamento a mano
- ricevitore handheld (demodulatore SSB)
- eventuale postprocessing (QRSS)

## *Link Budget per stazioni di classe alta*

- Distanza media della Luna 380000 Km
- Potenza del trasmettitore +30dBm (1W)
- Guadagno antenna trasmettitore 2dB
- Guadagno antenna ricevitore 20dB
- Temperatura d'antenna 50-100 K
- Figura di rumore del ricevitore 1dB
- Margine di link per le diverse larghezze di banda:
  - 50Hz (31bps *PSK31*) 17.3 dB
  - 500Hz (400bps *P3D*) 7.3 dB
  - 1600Hz (1200bps *MICROSAT*) 2.3 dB
- Bitrate più elevati con codifiche avanzate, già proposte per applicazioni AMSAT

## *Un ulteriore uso del mini-beacon*

### **Misura dell'angolo di Brewster in banda UHF**

Il segnale del beacon giunge a Terra sia attraverso un cammino diretto che attraverso la riflessione lunare.

I due segnali possono essere distinti per il diverso shift Doppler (la geometria del collegamento varia nel tempo). E' quello che avvenne per Explorer 35.

La polarizzazione del beacon deve essere controllata (polarizzazione parallela al piano d'incidenza). Ciò pone vincoli all'assetto del satellite. Questa difficoltà può essere superata irradiando due segnali, tra loro coerenti, su polarizzazioni ortogonali e codificati con codici ortogonali?



---

**Grazie per l'attenzione!**

**Per ogni ulteriore chiarimento o contatto:**

[p.tognolatti@ieee.org](mailto:p.tognolatti@ieee.org)

[ppitacco@nuvon.net](mailto:ppitacco@nuvon.net)