



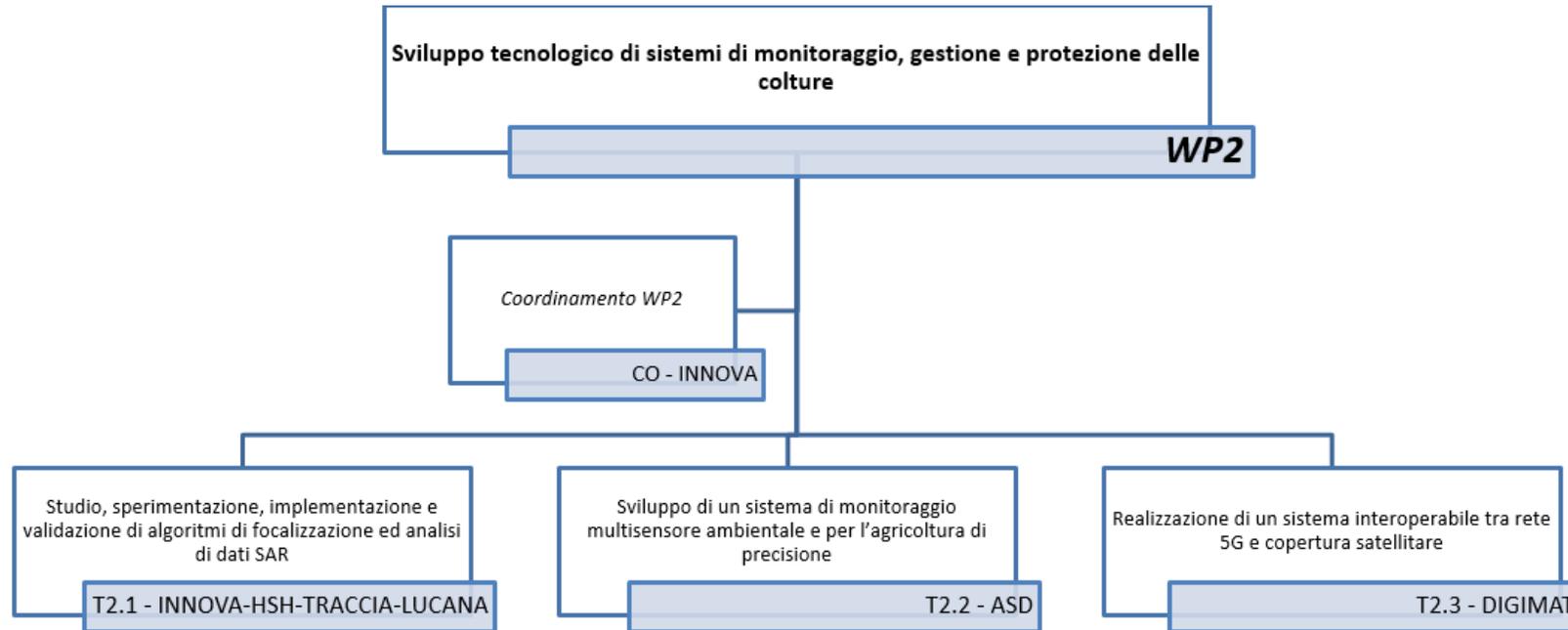
*T2.1 Studio, sperimentazione, implementazione e validazione di algoritmi di focalizzazione ed analisi di dati SAR*

# ON DEMAND SERVICES FOR SMART AGRICULTURE (OD4SA)

WP2 - SVILUPPO TECNOLOGICO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E PROTEZIONE DELLE COLTURE  
ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1



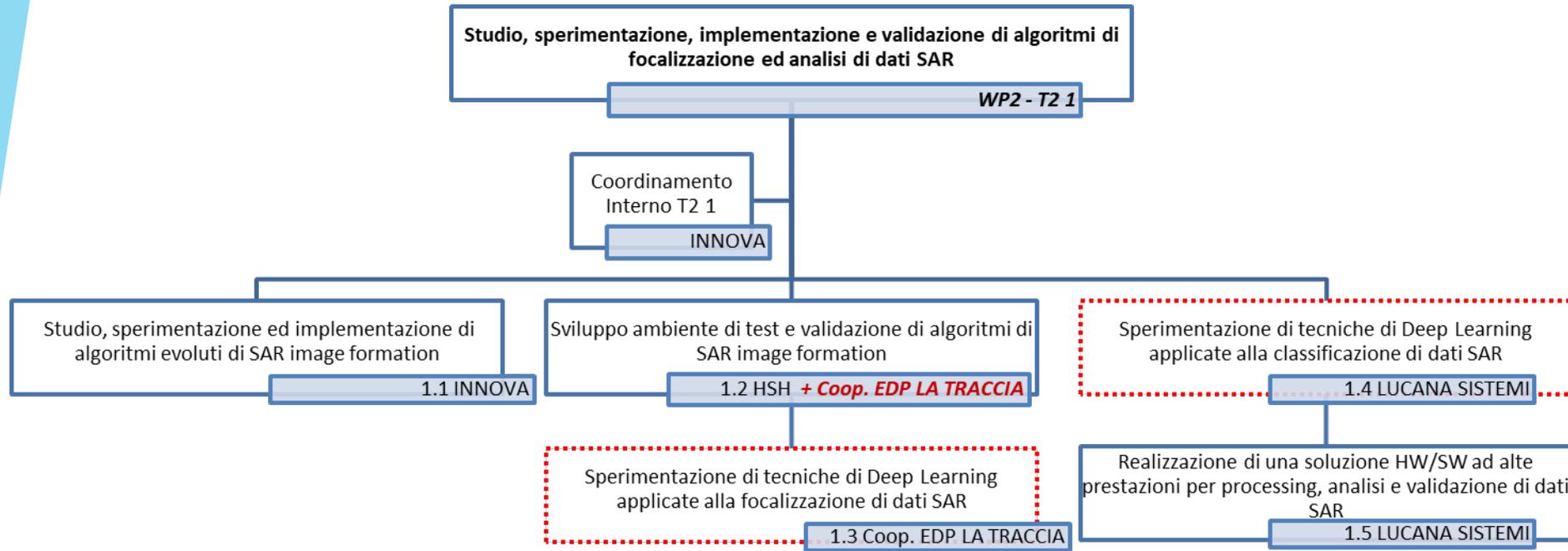
## T2.1 Studio, sperimentazione, implementazione e validazione di algoritmi di focalizzazione ed analisi di dati SAR



**WP2 - SVILUPPO TECNOLOGICO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E PROTEZIONE DELLE COLTURE**  
ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1



## T2.1 Studio, sperimentazione, implementazione e validazione di algoritmi di focalizzazione ed analisi di dati SAR



WP2 - SVILUPPO TECNOLOGICO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E PROTEZIONE DELLE COLTURE  
 ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1

## PREMESSE

### I - Spaceborne Synthetic Aperture Radar e Agricoltura di Precisione

- ▶ Il radar ad apertura sintetica è una tecnologia utilizzabile in modo efficace e apprezzabile nel monitoraggio delle colture e di altri bersagli agricoli perché la sua qualità non dipende dalle condizioni meteorologiche o di illuminazione
- ▶ Il SAR è sensibile alle strutture geometriche e alle proprietà dielettriche dei bersagli e ha una certa capacità di penetrazione in alcuni particolari bersagli agricoli
- ▶ Il potenziale del SAR per applicazioni agricole può essere organizzato in quattro categorie principali:
  - ▶ identificazione delle colture e statistiche sull'area di impianto delle colture,
  - ▶ estrazione dei parametri delle colture e dei terreni coltivati
  - ▶ stima della resa delle colture
  - ▶ stima delle precipitazioni

### II - Definizioni

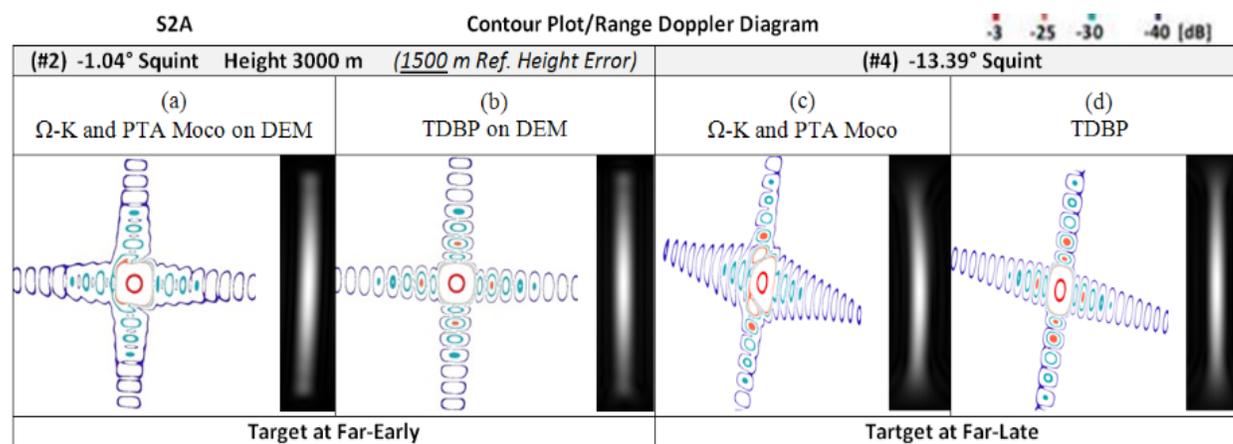
- ▶ Di qui in seguito, si assumono le seguenti definizioni

Definizione	Descrizione
(DEF) Algoritmo	Algoritmo di Formazione Immagine SAR (Image Formation).
(DEF) Dati SAR	Si fa generalmente riferimento, salvo se diversamente specificato, a dati acquisiti da sensore spaceborne-SAR in modalità Spotlight ad altissima risoluzione (UHR - sotto e molto al disotto dei 50 cm) acquisiti con angoli di squint backward/forward fino a 25 gradi.
(DEF) Processore	Software che implementa algoritmi di elaborazione dati da sensore SAR

## Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation

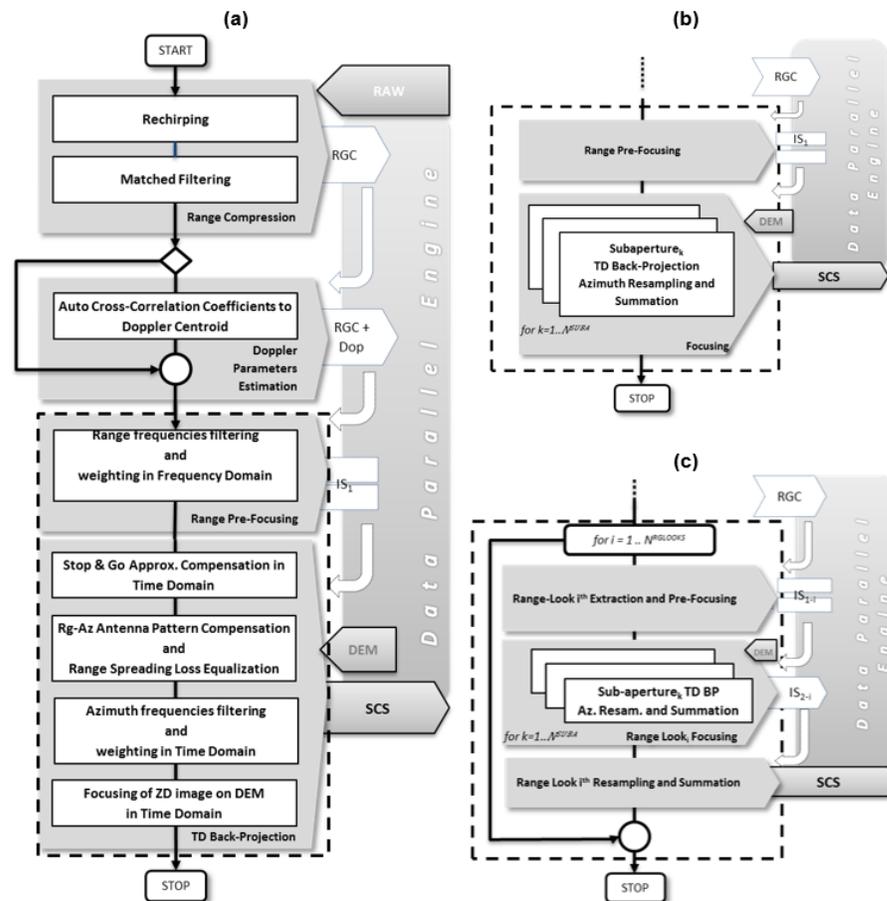
### T2.1.1 - INNOVA

- ▶ La crescente disponibilità di dati SAR ad altissima risoluzione ripresi nella modalità Spotlight sia da missioni già operative (es. ASI-CSG, Capella Space, TerraSAR-X) che da missioni future (es. TerraSAR-X NG, South Korea Project 425) impone la ricerca di nuovi approcci alla focalizzazione del dato SAR che sfruttino HW più performanti divenuti disponibili a costi accettabili per ottenere risultati più accurati anche in geometrie di acquisizione, per così dire, "estreme"
- ▶ Pagando il prezzo di un tempo di elaborazione molto più lungo, un algoritmo nel dominio del tempo (Time Domain Back-Projection TDBP) produce risultati molto vicini ai valori teorici per tutte le configurazioni di acquisizione, anche in presenza di valori di squint elevati e di forti variazioni topografiche.



# Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation

## T2.1.1 - INNOVA



Architettura dell'algoritmo nelle sue diverse formulazioni

(a) STANDARD (b) FAST con azimuth-sub-apertures (c) FAST con range-looks e azimuth-sub-aperture

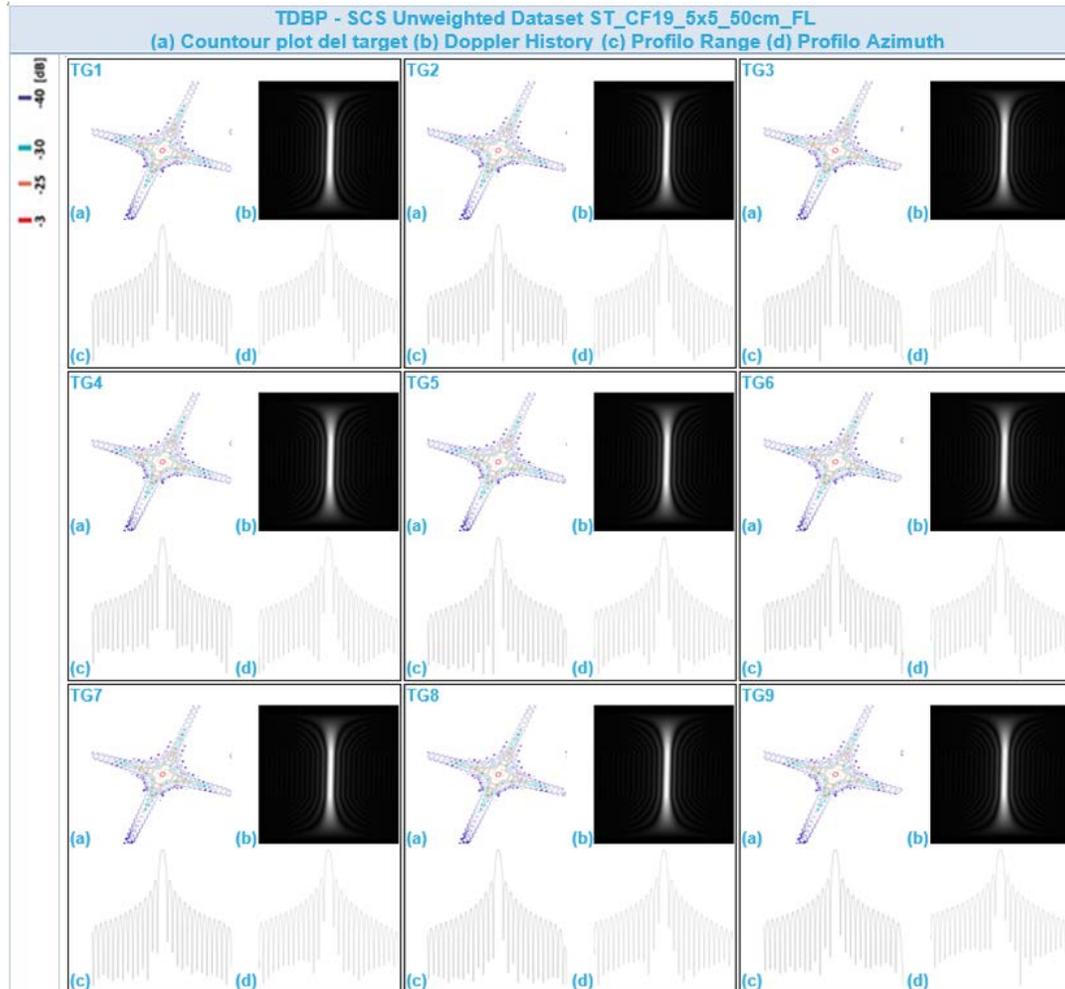
L'algoritmo di focalizzazione parte dal dato compresso in range ed esegue la Time Domain Back-Projection in due varianti

- Globale o Standard, costosissima in termini computazionali
- Ottimizzata (Fast o Fattorizzata) che, a costo di una ragionevole perdita di qualità di immagine, consente un guadagno computazionale assai rilevante

# Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation



## T2.1.1 - INNOVA



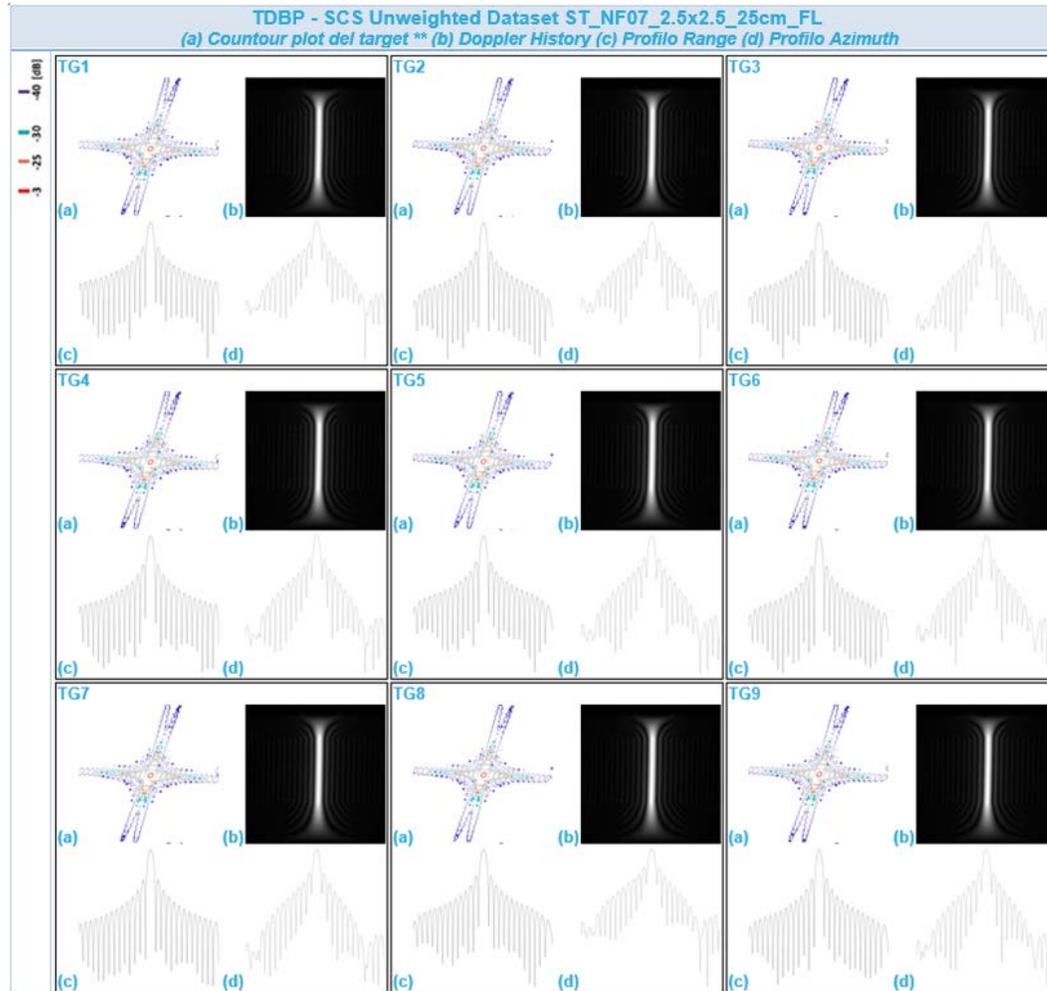
Analisi qualitativa dei risultati ottenuti dall'algoritmo TD nella sua formulazione Global alias Standard su 9 target puntiformi su una scena Spotlight simulata con

- ▶ 50 cm di risoluzione
  - ▶ 19° di squint
- su topografia piatta

# Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation



## T2.1.1 - INNOVA



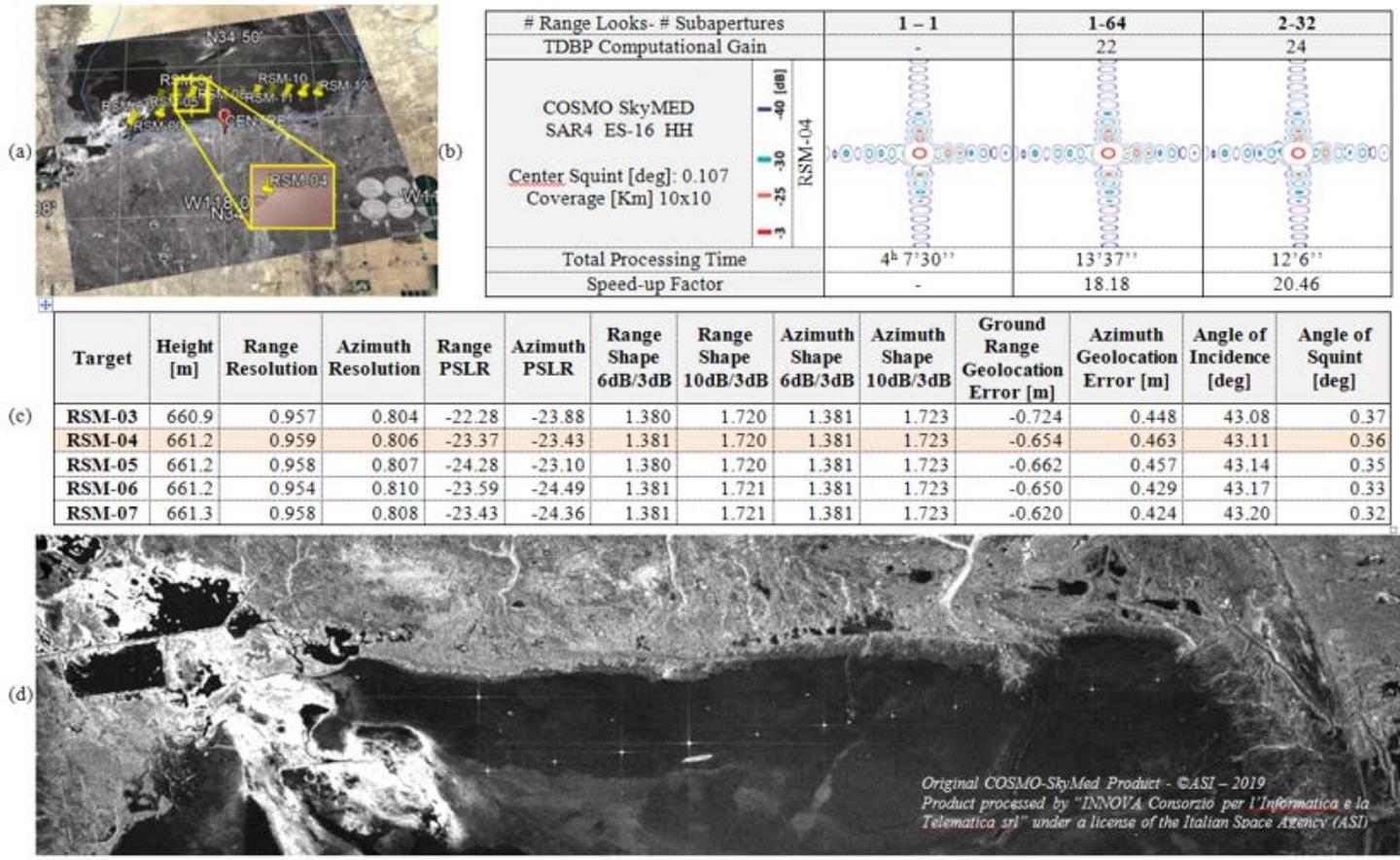
Analisi qualitativa dei risultati ottenuti dall'algoritmo TD nella sua formulazione GLOBAL alias Standard su 9 target puntiformi su una scena Spotlight simulata con

- ▶ 25 cm di risoluzione
  - ▶ 7° di squint
- su topografia piatta

# Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation



## T2.1.1 - INNOVA



Analisi qualitativa e quantitativa dei risultati ottenuti dall'algoritmo TD nelle sue formulazioni GLOBAL e FAST su una scena Spotlight reale con 1 m di risoluzione e 0° di squint

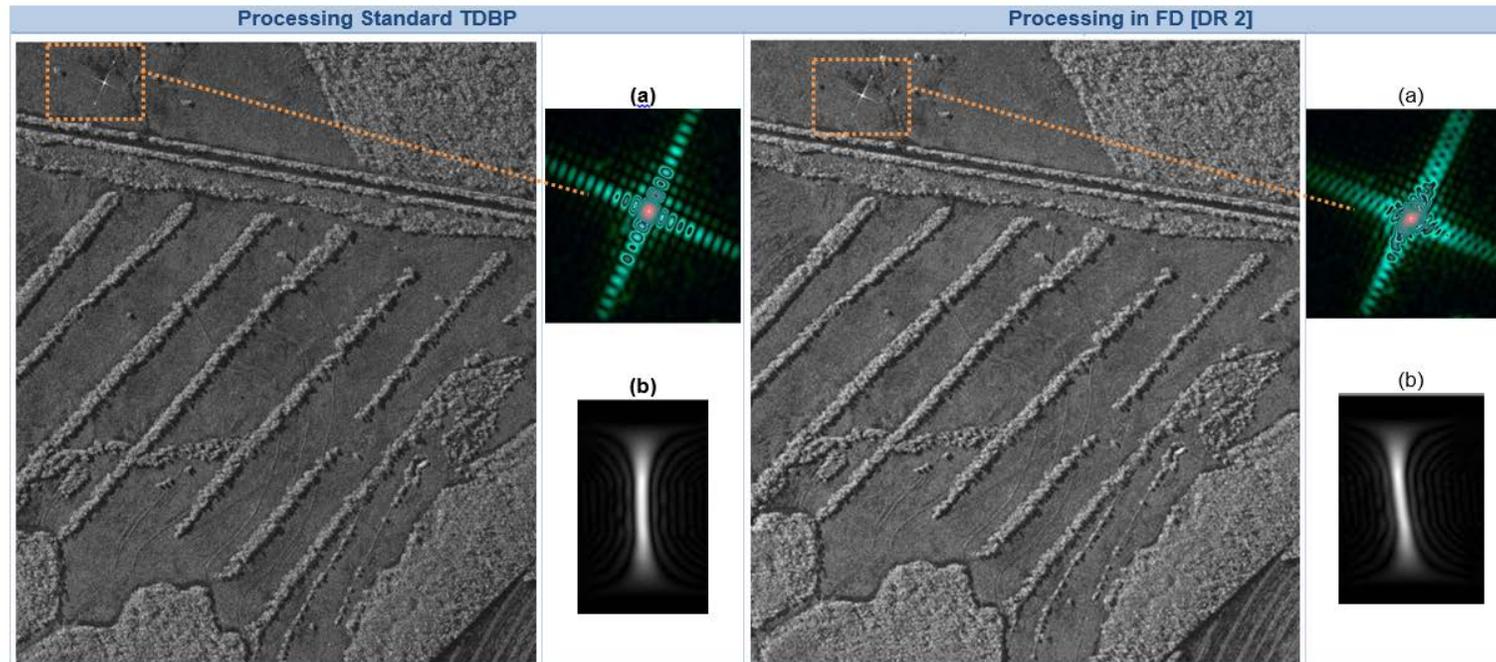
### Generazione ed analisi immagine complessa in slant COSMO Skymed ASI©

- (a) Quick look proiettata in Google Earth® Scena su Rosamond Lake con evidenza del Corner Reflector RMS-04 analizzato in dettaglio a destra
- (b) Profili del target RMS-04 ottenuti in tre scenari di elaborazione e indicazione dei tempi di esecuzione su una delle piattaforme ad alte prestazioni valutate
- (c) Analisi IRF quantitativa
- (d) Quick look della scena

# Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation



## T2.1.1 - INNOVA



Un particolare della quick-look di una ripresa Spotlight-2A (risoluzione  $< 40$  cm) ad altissimo squint ( $> 20$  gradi) eseguita su Surat Basin (Australia) nella primavera del 2022.

La figura mette a confronto qualitativamente i risultati ottenuti dall'applicazione dell'algoritmo di focusing Standard TDBP vs l'algoritmo che opera nel Dominio della frequenza FD.

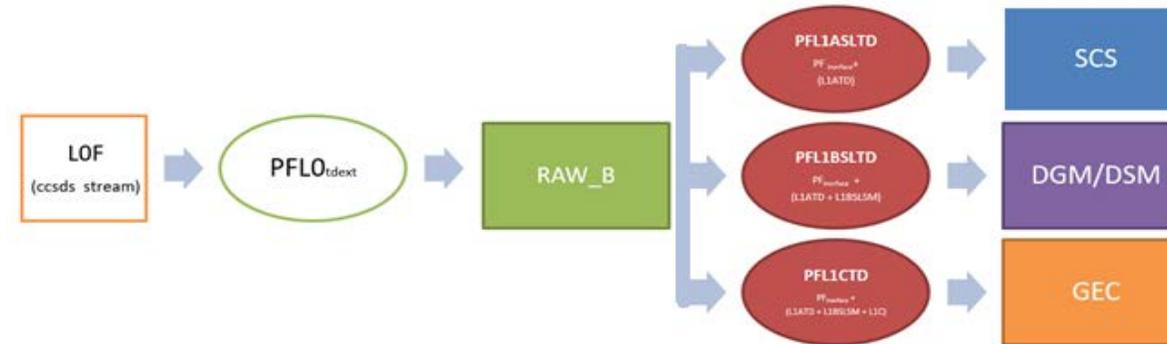
Focusing Standard TDBP vs FD in [DR 2]. Analisi qualitativa CR-41 (unweighted) (a) immagine target (b) storia doppler; il target è posizionato approssimativamente al centro azimuth della scena, laddove l'algoritmo in FD, pur lavorando al meglio, tuttavia non corregge del tutto la migrazione (b, a destra)

## Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation

### T2.1.1 - INNOVA

- ▶ Il software di focalizzazione genera un'immagine complessa (livello 1A) in proiezione SLANT
- ▶ Per generare immagini reali (detected) si è proceduto ad integrare il focalizzatore con i SW che eseguono la *detection*, la *ground projection* o il *geocoding* e correzione su ellissoide WGS84 generando tre componenti SW indipendenti

- ▶ PFL1ASLTD
- ▶ PFL1BSLTD
- ▶ PFL1CSLTD



- ▶ Essi sono in grado di interfacciarsi con il SW di generazione di dati RAW a partire da *stream ccsds* non criptati (PFL0)
- ▶ Tutto il SW di elaborazione è sviluppato in C++ ed utilizza tecniche HPC avanzate su architetture HW multi-processore

## Studio, sperimentazione ed implementazione di algoritmi evoluti di SAR image formation

### T2.1.1 - INNOVA

#### RISULTATI 1/5

SW realizzato con tecniche sofisticate di HPC per l'elaborazione di dati SAR ad altissima risoluzione ed altissimo squint acquisiti in geometria Spotlight in grado di generare immagini complesse e reali in diverse proiezioni e che implementa due varianti della Time-Domain Back-Projection:

- TDBP standard - richiede anche più giorni di elaborazione
- TDBP ottimizzata - richiede più ore di elaborazione

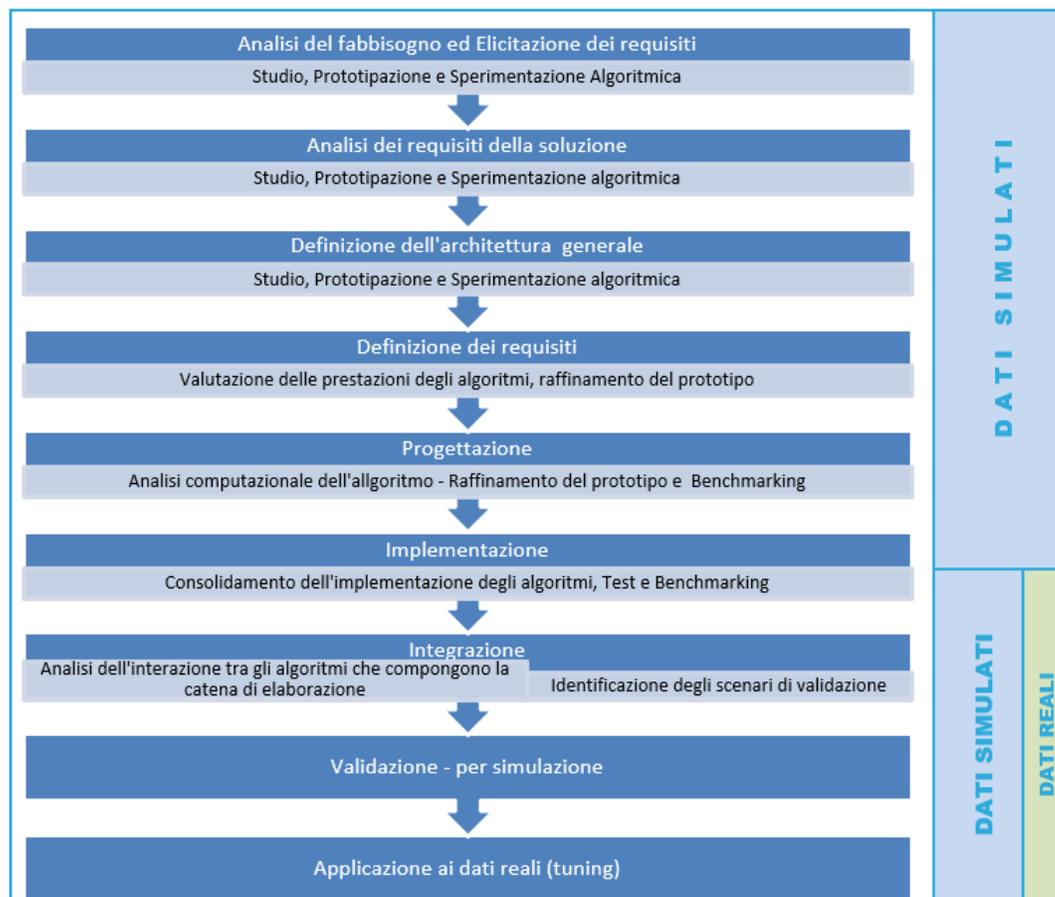
Esteso con capacità di elaborare coerentemente stack multi-polarimetrici



## Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation



### T2.1.2 - HSH & Coop. EDP LA TRACCIA



Schema di processo della metodologia di implementazione e validazione degli algoritmi

Allo scopo di implementare il progetto, sono stati identificati i macro processi raffigurati in figura dove si sottolinea la loro inter-relazione con le fasi di sperimentazione e sviluppo degli algoritmi di elaborazione del dato scientifico.

Lo sviluppo degli algoritmi si appoggia pesantemente al processo di simulazione del dato SAR, perseguendo pertanto l'obiettivo del raggiungimento della prestazione "teorica", svincolata quindi da altre fonti di errore di un Sistema Spaziale.

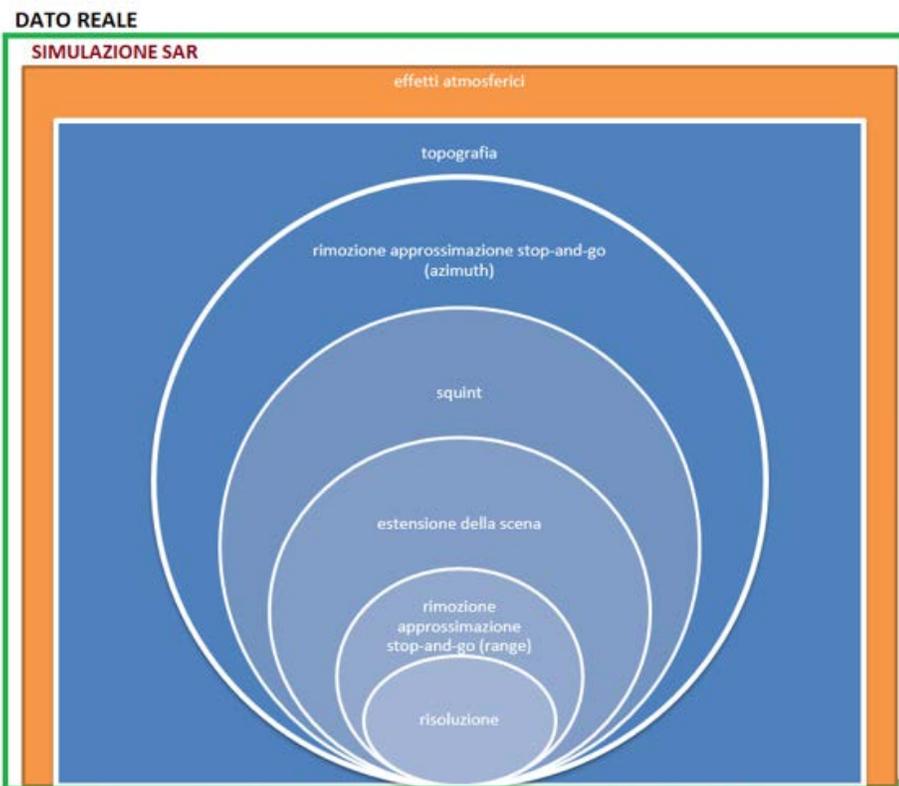
Il "riscontro" sul dato reale inizia nelle fasi conclusive dell'implementazione, a ridosso della fase di integrazione.

Normalmente gli scenari individuati in simulazione sono più restrittivi di quelli reali a garanzia della robustezza degli algoritmi.

## Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation



## T2.1.2 - HSH &amp; Coop. EDP LA TRACCIA



Approccio alla definizione degli scenari di simulazione

Gli scenari di simulazione nella fase di sviluppo, integrazione e validazione coprono i diversi aspetti critici (i.e. risoluzione, eliminazione delle ipotesi di approssimazione, squint...) individuati, sovrapponendone gli effetti. Cionondimeno, durante le attività di studio, sperimentazione e testing, ciascuna delle variabili indipendenti può essere manovrata indipendentemente per isolare gli effetti ed affrontarne separatamente lo studio.

Le simulazioni che siamo in grado di generare sono di tipo point target, con 9 o 25 bersagli, adatte tipicamente alla verifica delle prestazioni di IRF. Per le scene estese, quando necessarie, si selezionano opportuni dati reali non essendo prevista la possibilità di generare dati sintetici siffatti in questo progetto.

## Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation

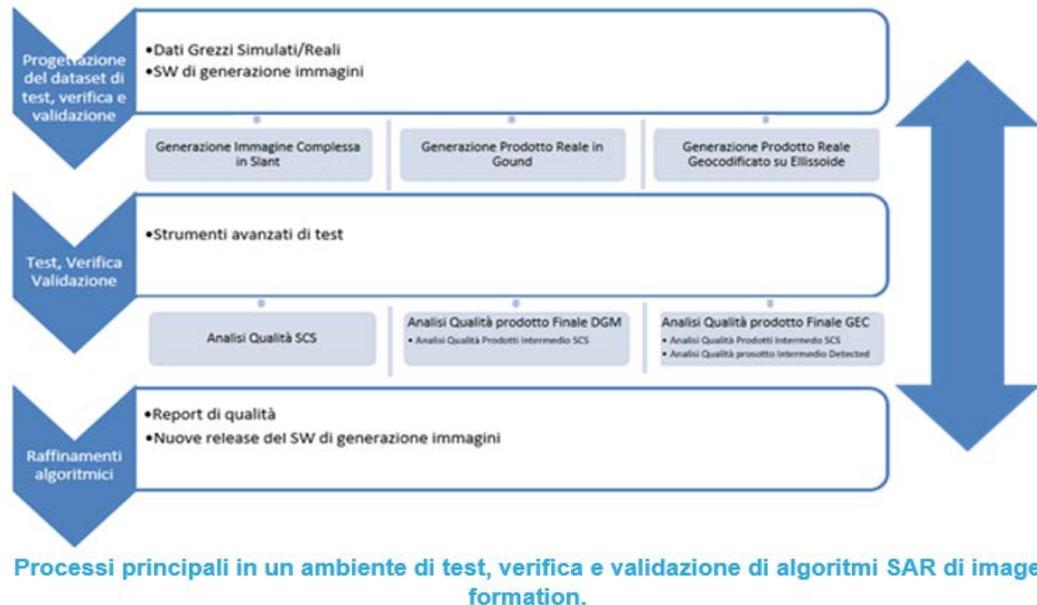


### T2.1.2 - HSH & Coop. EDP LA TRACCIA

Partendo da un'attenta progettazione del dataset di test guidata dagli obiettivi prefissati, il SW di formazione delle immagini, nell'ultima versione disponibile, è stato valutato nelle sue prestazioni complessive.

Lo strumento principe è il Tool di Analisi Qualità, in grado di rilevare in tempi rapidi gli indicatori di qualità forniti in una reportistica di facile interpretazione.

La nostra attenzione è stata rivolta alla capacità di analizzare rapidamente decine di immagini prodotte con diverse parametrizzazioni del processore e comparare i risultati in un quadro sinottico così da poter individuare trend o anomalie per stabilire gli interventi manutentivi ed evolutivi da eseguire sul software.



# Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation



## T2.1.2 - HSH & Coop. EDP LA TRACCIA

Al fine di realizzare nuovi e performanti strumenti SW di analisi di dati SAR si sono condotte le seguenti attività:

- Progettazione, Implementazione e Test delle primitive di analisi e misura in ambiente di calcolo ad alte prestazioni
- Integrazione delle primitive di analisi e misura in ambiente batch
- Definizione di Formato di Interscambio tra il tool di controllo qualità e SW di presentazione dei risultati

Recent Files | QOCSG\_CSXSS\_QANALYSIS\_SCS\_B\_0101\_S2\_0A\_VV\_LA\_R\_20000101123037\_20000101123043\_1\_F\_005

Object Attribute Info | General Object Info

Attribute Creation Order: Creation Order NOT Tracked

Number of attributes = 26

Name | Type

Analyzed Target Expected Ground Geometric Resolution | 64-bit floating-point

Analyzed Target Expected Height | 64-bit floating-point

Analyzed Target Expected Row-Column | 64-bit floating-point

Analyzed Target Frame | 64-bit floating-point

Analyzed Target Name | 64-bit floating-point

Angle of Incidence | 64-bit floating-point

Angle of Incidence 3D | 64-bit floating-point

Angle of Orientation | 64-bit floating-point

Angle of Squint | 64-bit floating-point

Center Offset of Oversampled Spectrum R | 64-bit floating-point

Central Range Frequency | 64-bit floating-point

DEM (Row-Column) | 8-bit unsigned integer

Doppler Centroid | 64-bit floating-point

Geolocation - East-North Coordinates | 64-bit floating-point

Geolocation - East-North Error [m] | 64-bit floating-point

Geolocation - East-North Error [pix] | 64-bit floating-point

Geolocation - Ellipsoid Geodetic Coordinat | 64-bit floating-point

Geolocation - Geodetic Coordinates | 64-bit floating-point

Geolocation - Range-Azimuth Error [m] | 64-bit floating-point

Geolocation - Range-Azimuth Error [pix] | 64-bit floating-point

Geolocation - East-North Times | 64-bit floating-point

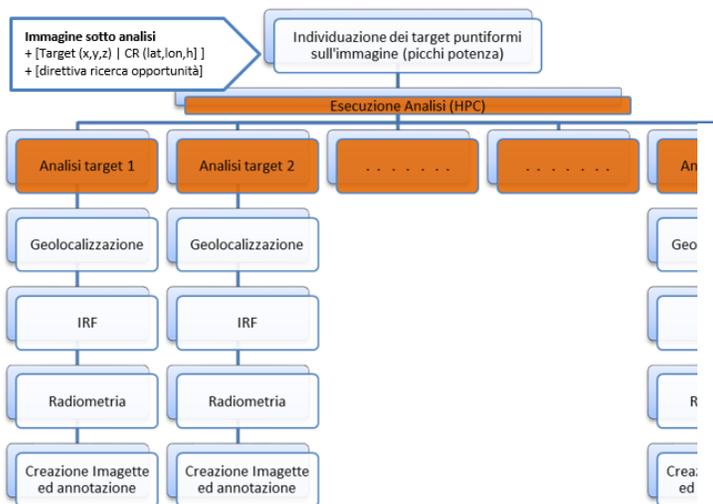
Geolocation - Row-Column | 64-bit floating-point

Layer (Row-Column) | 8-bit unsigned integer

Peak Power | 64-bit floating-point

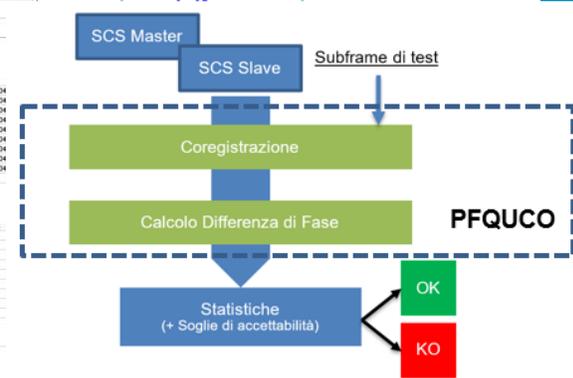
Power Balance | 64-bit floating-point

Output QANALYSIS nel formato PFQUO-IF aperto in HDF@View



Analysed Target Name	DEM [m]	Power [dB]	Doppler Centroid [Hz]	Row	Column	Range Geometric Resolution [m]	Range Geometric Resolution [pix]	Azimuth Geometric Resolution [m]	Azimuth Geometric Resolution [pix]	Range Geometric Resolution [m]	Range Geometric Resolution [pix]	Azimuth Geometric Resolution [m]	Azimuth Geometric Resolution [pix]	Range Geometric Resolution [m]	Range Geometric Resolution [pix]	Azimuth Geometric Resolution [m]	Azimuth Geometric Resolution [pix]	Range Geometric Resolution [m]	Range Geometric Resolution [pix]	Azimuth Geometric Resolution [m]	Azimuth Geometric Resolution [pix]	Ground Geolocation on Error [m]	Azimuth Geolocation on Error [m]	Range Time				
1	0	-4.74	5744.524	824.000	520.297	1276	0.088	3.590	0.247	1870	0.221	-18.404	-18.720	-25.095	-25.123	-25.149	-25.175	-25.201	-25.227	-25.253	-25.279	-25.305	-25.331	-25.357	0.004	0.004	0.004	
2	0	-4.720	571005.587	824.000	7096.343	1276	0.088	3.571	0.245	1870	0.221	-18.422	-18.735	-25.129	-25.160	-25.190	-25.220	-25.250	-25.280	-25.310	-25.340	-25.370	-25.400	-25.430	0.004	0.004	0.004	
3	0	-4.748	57706.701	824.000	12001.657	1276	0.088	3.564	0.244	1870	0.221	-18.388	-18.716	-25.180	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	-25.144	0.004	0.004	0.004
4	0	-4.703	58763.959	824.958	530.357	1276	0.088	3.590	0.247	1871	0.221	-18.388	-18.703	-25.094	-25.131	-25.162	-25.192	-25.222	-25.252	-25.282	-25.312	-25.342	-25.372	-25.402	0.004	0.004	0.004	
5	0	-4.720	58724.022	824.958	7096.343	1276	0.088	3.570	0.245	1871	0.221	-18.418	-18.710	-25.125	-25.164	-25.204	-25.243	-25.282	-25.321	-25.360	-25.399	-25.438	-25.477	-25.516	0.004	0.004	0.004	
6	0	-4.747	59884.605	824.958	12001.657	1276	0.088	3.564	0.244	1871	0.221	-18.424	-18.730	-25.121	-25.160	-25.199	-25.238	-25.277	-25.316	-25.355	-25.394	-25.433	-25.472	-25.511	0.004	0.004	0.004	
7	0	-4.706	59681.822	824.957	530.357	1276	0.088	3.590	0.247	1872	0.222	-18.418	-18.681	-25.089	-25.121	-25.153	-25.185	-25.217	-25.249	-25.281	-25.313	-25.345	-25.377	-25.409	0.004	0.004	0.004	
8	0	-4.722	59647.730	824.957	7096.343	1276	0.088	3.570	0.245	1872	0.222	-18.406	-18.645	-25.127	-25.166	-25.204	-25.243	-25.282	-25.321	-25.360	-25.399	-25.438	-25.477	-25.516	0.004	0.004	0.004	
9	0	-4.740	59601.705	824.957	12001.629	1276	0.088	3.563	0.244	1872	0.222	-18.411	-18.640	-25.107	-25.140	-25.173	-25.206	-25.239	-25.272	-25.305	-25.338	-25.371	-25.404	-25.437	0.004	0.004	0.004	
10	0	-4.740	59601.705	824.957	12001.629	1276	0.088	3.563	0.244	1872	0.222	-18.411	-18.640	-25.107	-25.140	-25.173	-25.206	-25.239	-25.272	-25.305	-25.338	-25.371	-25.404	-25.437	0.004	0.004	0.004	
11	0	-4.740	59601.705	824.957	12001.629	1276	0.088	3.563	0.244	1872	0.222	-18.411	-18.640	-25.107	-25.140	-25.173	-25.206	-25.239	-25.272	-25.305	-25.338	-25.371	-25.404	-25.437	0.004	0.004	0.004	

File CSV output di con analisi quantitativa



Processo per l'esecuzione del test di Bamler

Flusso dell'analisi point-target in ambiente HPC

Tito, 6 Settembre 2023

WP2 - SVILUPPO TECNOLOGICO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E PROTEZIONE DELLE COLTURE

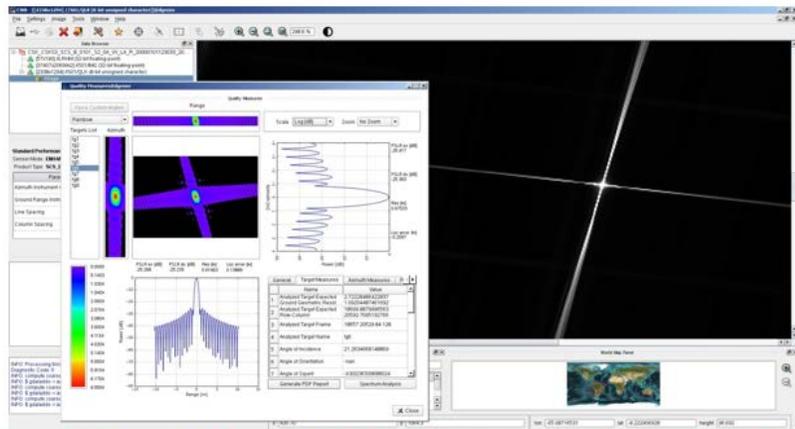
ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1

# Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation

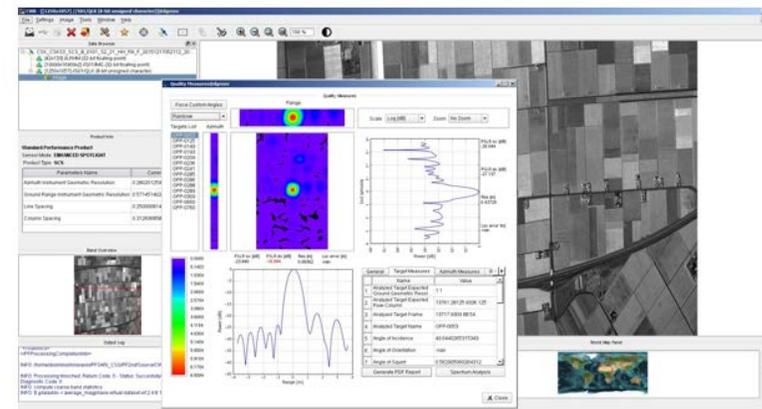


## T2.1.2 - HSH & Coop. EDP LA TRACCIA

- ▶ Si è proceduto ad estendere il quality control tool PFQUCO alla scansione ed analisi di dati SAR reali :
  - ▶ target puntiformi rappresentati da Corner Reflectors di posizione nota
  - ▶ target di opportunità ricercati in un grigliato più o meno fitto
- ▶ Si è eseguita quindi l'integrazione delle primitive (raccolte in una C++ command line executable) in ambiente in interattivo (Python, PyQt) per l'analisi e l'interpretazione del dato SAR



Interfaccia Utente dello strumento di analisi e interpretazione del dato SAR – Dato simulato



Interfaccia Utente dello strumento di analisi e interpretazione del dato SAR – Dato reale

## Sviluppo ambiente di test e validazione di algoritmi di SAR image formation



T2.1.2 - HSH & Coop. EDP LA TRACCIA

### RISULTATI 1/5

### RISULTATI 2/5

#### Ambiente di test e validazione di algoritmi in scenari di ripresa SAR di nuova generazione

Ambiente completo di test e validazione di algoritmi di elaborazione di immagini SAR, anch'esso realizzato utilizzando tecniche avanzate di HPC, con sofisticate funzionalità di analisi della qualità dell'immagine e in grado di essere operato:

- In modalità batch per
  - Attivazione command-line (*scripting*)
  - Attivazione da remoto (*cloud-computing*)
- Attraverso un'interessante interfaccia grafica guidata da operatore

In tale ambiente si forniscono numerose possibilità di generazione di reportistica in diversi formati.



# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

L'attività si è svolta come segue:

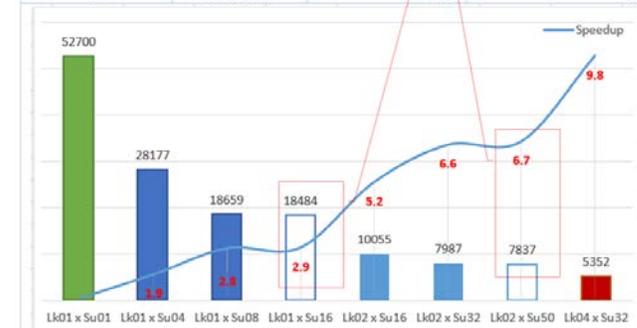
- ▶ Selezione della piattaforma HW/SW ad alte prestazioni (HPC) tra diverse configurazioni candidate
  - ▶ Alla luce dei risultati delle intensive attività di benchmarking, la soluzione PLTF 6 è risultata essere la più vantaggiosa tra quelle già disponibili e di proprietà.
- ▶ Integrazione delle **SAR Processing and Analysis capabilities** sulla piattaforma HPC selezionata
- ▶ Intensivo Trade-Off tra prestazioni temporali vs qualità immagine

Anno di acquisto (*)	ID# Piattaforma	Modello (**)	SO (RHEL)	Numero e modello CPU Intel® Xeon®		RAM GB	CPU Cores	Total Cores/Threads
2015 2016	PLTF 1	R930	7.1	4 E7-8891v3	2.8 GHz 45MB	256	20C HT	80C/160Th
	PLTF 2	R820	7.5	4 E5-4620	2.2 GHz 16MB	256	8C HT	16C/32Th
	PLTF 3 (***)	FC830	7.1	4 E5-4660v3	2.1 GHz 35MB	256	14C HT	56C/112Th
2019	PLTF 4	R740	8.0	2 Platinum 8280	2.7 GHz 38.5MB	256	28C HT	56C/112Th
	PLTF 5	R840	7.5	4 Platinum 8176	2.1 GHz 38.5MB	384	28C HT	112C/224Th
2022	PLTF 6		8.5					
2023 Q2	PLTF 7 (T&B)	R750	8.5	2 Platinum 8360Y	2.4 GHz 54M	512	36C HT	72C/144Th

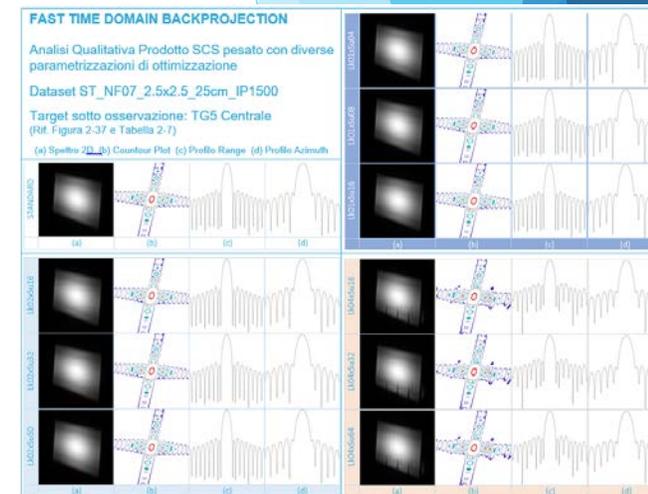
(\*) Acquisto o Try&Buy      (\*\*) DELL Power Edge Server      (\*\*\*) Benchmarks Prototipo TDBP in [DR 3] e [DR 4]

Configurazioni HW/SW-HPC valutate

#ID Configurazione	N <sup>RGBLOCK</sup> x N <sup>TUBA</sup>	Tempo di esecuzione T [s] su PLTF 6	Speedup $T(CFG-1)/T(CFG-I)$ $I=2..8$
1	STANDARD	52700	-
2	Lk01 x Su04	28177	1.9
3	Lk01 x Su08	18659	2.8
4	Lk01 x Su16	18484	2.9
5	Lk02 x Su16	10055	5.2
6	Lk02 x Su32	7987	6.6
7	Lk02 x Su50	7837	6.7
8	Lk04 x Su32	5352	9.8



Tempi di esecuzione per la generazione di SCS pesato al variare dei parametri di ottimizzazione - Dataset ST\_NF07\_2.5x2.5\_25cm\_IP1500



Analisi qualitativa del target centrale del SCS pesato al variare dei parametri di ottimizzazione - Dataset ST\_NF07\_2.5x2.5\_25cm\_IP1500

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## BENCHMARK PLTF 6

Tripla di dati reali CSG SPOTLIGHT-2A (\*)

a diversi gradi di squint

(ripresa in modalità «Teatro»)

- ▶ F08 - Sq. Forward 8°
- ▶ F01 - Sq. Forward 1°
- ▶ B06 - Sq. Backward 6°

(\*) [https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/08/COSM-O-SkyMed-Mission-and-Products-Description\\_rev3-2.pdf](https://www.asi.it/wp-content/uploads/2019/08/COSM-O-SkyMed-Mission-and-Products-Description_rev3-2.pdf)

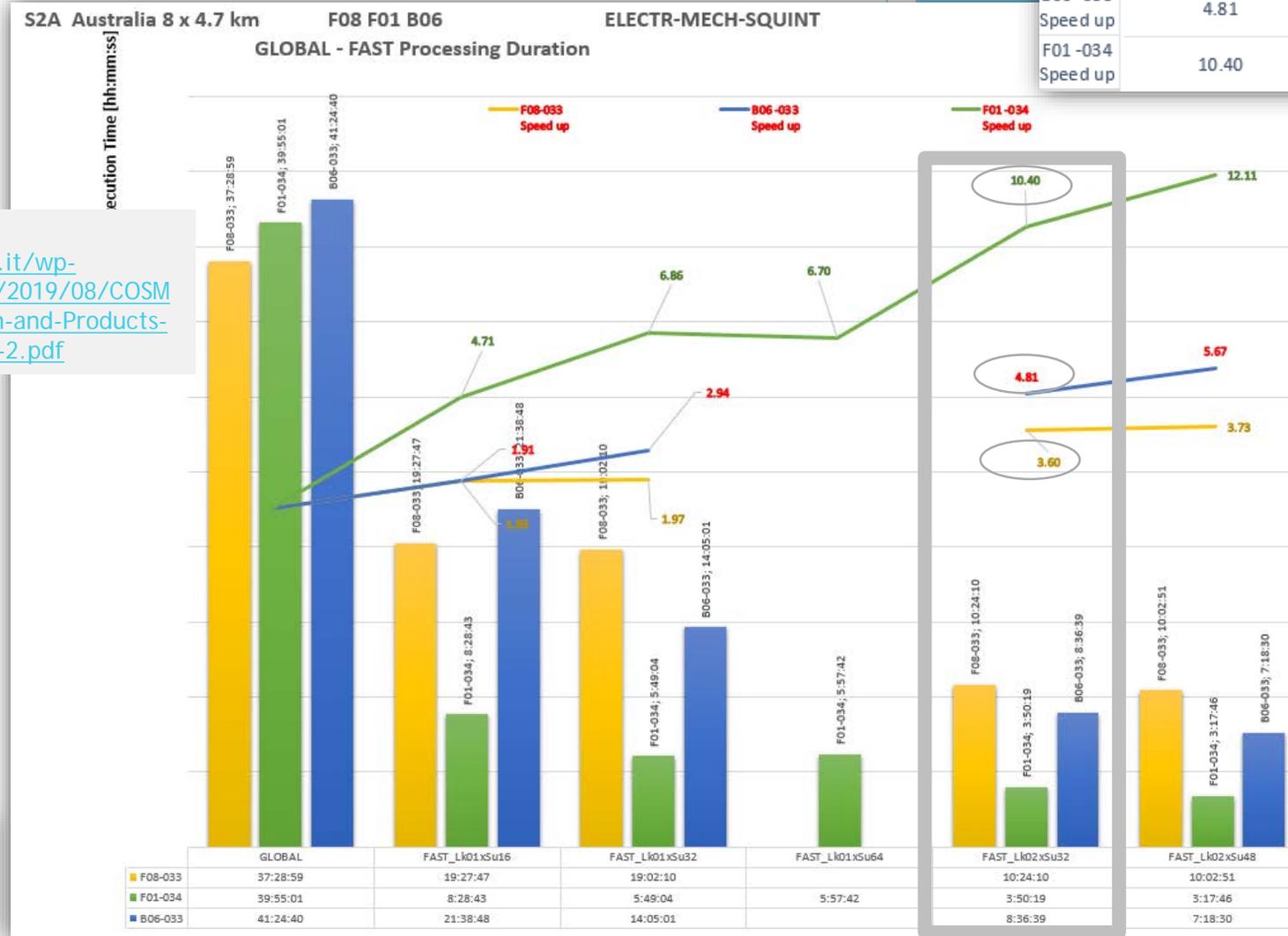
Utilizzando i seguenti Parametri di 'ottimizzazione' della back-projection

- ▶ 2 range looks
- ▶ 32 sub-aperture

si ottiene in ognuno dei tre casi uno speed-up assai rilevante e, come atteso, molto maggiore sul dato a basso squint

	GLOBAL	FAST_Lk02xSu32
F08-033	37:28:59	10:24:10
F01-034	39:55:01	3:50:19
B06-033	41:24:40	8:36:39

	FAST_Lk02xSu32
F08-033	3.60
B06-033	4.81
F01-034	10.40



# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

### BENCHMARK PLTF 6

Tripla di dati reali CSG SPOTLIGHT-2A

a diversi gradi di squint

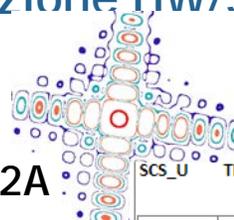
(ripresa in modalità «Teatro»)

- ▶ F08 - Sq. Forward 8°
- ▶ F01 - Sq. Forward 1°
- ▶ B06 - Sq. Backward 6°

Utilizzando i seguenti Parametri di 'ottimizzazione' della back-projection

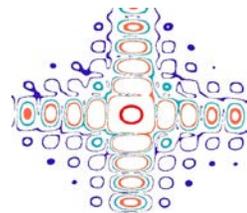
- ▶ 2 range looks
- ▶ 32 sub-aperture

si ottiene ancora una ottima qualità di focalizzazione del target (corner reflector nel sito di Surat Basin) come mostrato dalla analisi IRF eseguita sul prodotto NON pesato



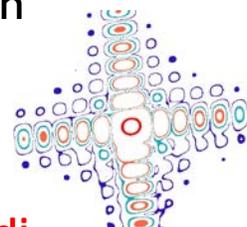
SCS\_U THM\_S2A\_033\_HH\_20200808202635\_F08\_Lk02xSu32\_Sp-1\_EQ\_AZB\_F/ Created 2023-06-28 19:17:02.436627845 +0200

Analyzed Target Name	DEM(r,c) [m]	Range Geometric Resolution - Ground	Azimuth Geometric Resolution - Ground	Range ISLR	Azimuth ISLR	Range PSLR Left	Range PSLR Right	Azimuth PSLR Left	Azimuth PSLR Right	Range SSLR Left	Range SSLR Right	Azimuth SSLR Left	Azimuth SSLR Right	Range Shape 6dB-3dB	Range Shape 10dB-3dB	Azimuth Shape 6dB-3dB	Azimuth Shape 10dB-3dB
AUS-23	380.2344	0.3912	0.2802	-11.6112	-10.3774	-14.6787	-14.7674	-13.6687	-13.3365	-24.2480	-25.0896	-22.8291	-23.1899	1.3652	1.6751	1.3627	1.6678



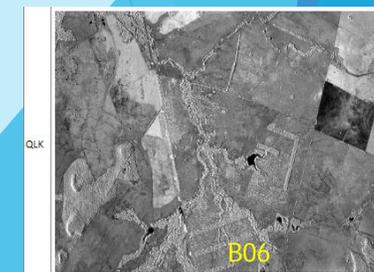
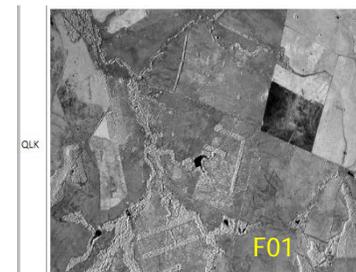
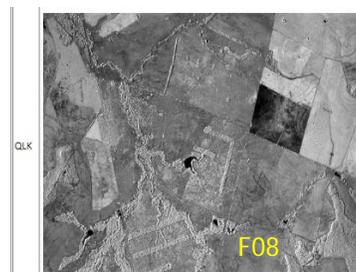
SCS\_U THM\_S2A\_034\_HH\_20200808202652\_F01\_Lk02xSu32\_Sp-1\_EQ\_AZB\_F/ Created 2023-06-29 23:30:51.953597033 +0200

Analyzed Target Name	DEM(r,c) [m]	Range Geometric Resolution - Ground	Azimuth Geometric Resolution - Ground	Range ISLR	Azimuth ISLR	Range PSLR Left	Range PSLR Right	Azimuth PSLR Left	Azimuth PSLR Right	Range SSLR Left	Range SSLR Right	Azimuth SSLR Left	Azimuth SSLR Right	Range Shape 6dB-3dB	Range Shape 10dB-3dB	Azimuth Shape 6dB-3dB	Azimuth Shape 10dB-3dB
AUS-23	380.2402	0.3937	0.2515	-11.9487	-10.0205	-14.8024	-15.0525	-13.3587	-12.9295	-25.1463	-23.7642	-23.2391	-22.7495	1.3653	1.6751	1.3621	1.6662



SCS\_U THM\_S2A\_033\_HH\_20200808202708\_B06\_Lk02xSu32\_Sp-1\_EQ\_AZB\_F/ Created 2023-06-29 18:56:08.244071634 +0200

Analyzed Target Name	DEM(r,c) [m]	Range Geometric Resolution - Ground	Azimuth Geometric Resolution - Ground	Range ISLR	Azimuth ISLR	Range PSLR Left	Range PSLR Right	Azimuth PSLR Left	Azimuth PSLR Right	Range SSLR Left	Range SSLR Right	Azimuth SSLR Left	Azimuth SSLR Right	Range Shape 6dB-3dB	Range Shape 10dB-3dB	Azimuth Shape 6dB-3dB	Azimuth Shape 10dB-3dB
AUS-23	380.2451	0.3951	0.2588	-11.8820	-9.3786	-14.7641	-14.9945	-12.8289	-12.4806	-25.1427	-23.7305	-22.5804	-22.9936	1.3655	1.6759	1.3660	1.6817



## Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



### T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

#### SARPaaS - SAR-Processing-as-a-Service - progettazione di una soluzione deployed su Cloud

- ▶ Si è predisposta una soluzione idonea al deployment su Cloud (*Azure* in valutazione), che, in assonanza con la corrente terminologia, denominiamo **SARPaaS, SAR Processing-as-a-Service**, accessibile attraverso una semplice interfaccia **WEB** che consente di richiedere il processing di dati grezzi e di ricevere i risultati completi di analisi di qualità.
- ▶ Il deployment dell'ambiente di produzione sul Cloud selezionato richiede quanto segue:
  - ▶ PaaS per il deployment del server **WEB** di gestione richieste e del server **ftp** di interscambio, in una configurazione **HW** opportuna
  - ▶ PaaS per il deployment della facility di processing e di analisi. L'HW selezionato è un server 4 socket con processori **Intel®Xeon®** di terza generazione con **SO RHEL8**

## Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



### T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

## SARPaaS - SAR-Processing-as-a-Service - progettazione di una soluzione deployed su Cloud

- ▶ L'interfaccia WEB presenta le seguenti funzionalità:
  - ▶ Login, Registrazione utenti
  - ▶ Form di immissione richiesta di processing con opzioni di base
  - ▶ Recupero dati richiesta (da un database *postgres*)
  - ▶ Funzione di upload dei dati grezzi (verso un server ftp)
  - ▶ Funzione di download dei risultati (da server ftp) o inoltro degli stessi su server ftp registrato dall'utente
  
- ▶ Il dimostrativo accetta solo dati simulati ed è stato messo a punto sulla piattaforma HW in comodato d'uso per tutto il 2023 sulla quale è installato il sistema operativo RHEL 8



PLTF 7	Server DELL PowerEdge R750	CPU 2 Xeon Platinum 8360Y 2.4 GHz	54M	RAM 512 GB	CPU CORES 36C HT	TOTAL CORES/THREADS 72C/144TH
--------	-------------------------------	--------------------------------------	-----	---------------	---------------------	----------------------------------

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

The screenshot shows a web browser window with the following content:

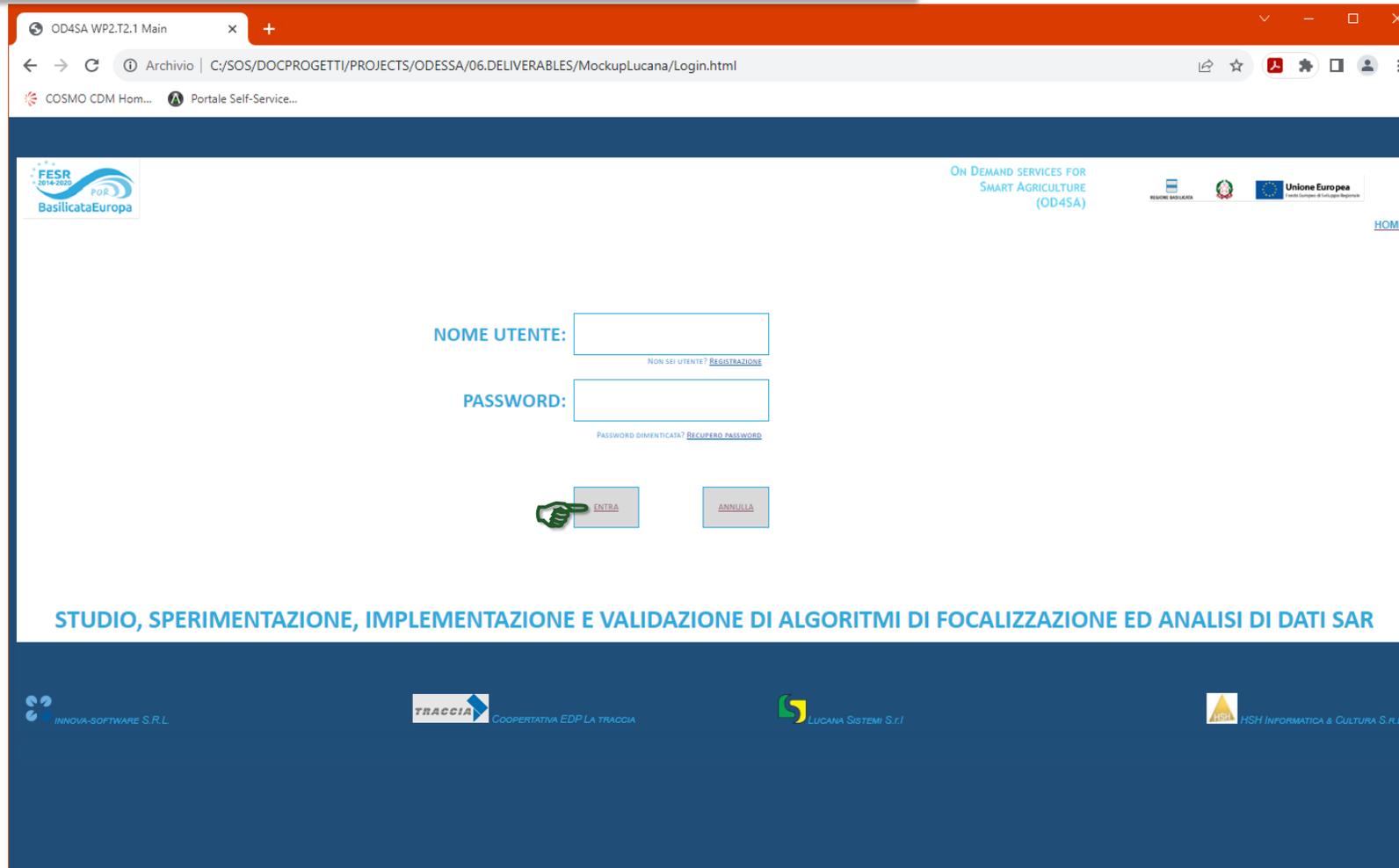
- Browser tabs: OD4SA WP2.T2.1 Main
- Address bar: C:/SOS/DOCPROGETTI/PROJECTS/ODESSA/06.DELIVERABLES/MockupLucana/index.html
- Logos: FESR 2014-2020 POR BasilicataEuropa, Regione Basilicata, Unione Europea, LOGIN AL PORTALE (with a red hand icon pointing to the link)
- Main heading: ON DEMAND SERVICES FOR SMART AGRICULTURE (OD4SA)
- Sub-heading: WP2 - SVILUPPO TECNOLOGICO DI SISTEMI DI MONITORAGGIO, GESTIONE E PROTEZIONE DELLE CULTURE ASSE I - RICERCA, INNOVAZIONE E SVILUPPO TECNOLOGICO del PO FESR 2014-2020 - Azione 1B.1.2.1
- Project description: STUDIO, SPERIMENTAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI ALGORITMI DI FOCALIZZAZIONE ED ANALISI DI DATI SAR
- Footer logos: INNOVA-SOFTWARE S.R.L., TRACCIA COOPERATIVA EDPLA TRACCIA, LUCANA SISTEMI S.r.l., HSH INFORMATICA & CULTURA S.r.l.

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI



# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

OD4SA WP2.T2.1 Main

Archivio | C:/SOS/DOCPROGETTI/PROJECTS/ODESSA/06.DELIVERABLES/MockupLucana/menu.html

COSMO CDM Hom... Portale Self-Service...

FESR 2014-2020 BasilicataEuropa

ON DEMAND SERVICES FOR SMART AGRICULTURE (OD4SA)

Unione Europea

AIUTO VAI AI MIEI ORDINI

INSERIMENTO NUOVO ORDINE

MISSIONE

TIPO DI PRODOTTO

PROIEZIONE

DATO IN INPUT  [RAW ID]

STUDIO, SPERIMENTAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI ALGORITMI DI FOCALIZZAZIONE ED ANALISI DI DATI SAR

INNOVA-SOFTWARE S.R.L. TRACCIA COOPERATIVA EDP LA TRACCIA LUCANA SISTEMI S.r.l. HSH INFORMATICA & CULTURA S.R.L.

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

OD4SA WP2.T2.1 Main

Archivio | C:/SOS/DOCPROGETTI/PROJECTS/ODESSA/06.DELIVERABLES/MockupLucana/config.html

COSMO CDM Hom... Portale Self-Service...

FESR 2014-2020 BasilicataEuropa

ON DEMAND SERVICES FOR SMART AGRICULTURE (OD4SA)

REGIONE BASILICATA Unione Europea

AIUTO VAL AI MIEI ORDINI [NOME\_UTENTE] Esci

CONFIGURAZIONE ORDINE [ORDER ID] - TIME DOMAIN BACK-PROJECTION

NUMERO DI SUBAPERTURE: 1

NUMERO DI RANGE LOOKS: 1 ↕

ELABORA SOLO PT  DIMENSIONE: 128

ALTRI PARAMETRI > FINE

STUDIO, SPERIMENTAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI ALGORITMI DI FOCALIZZAZIONE ED ANALISI DI DATI SAR

PARAMETRI SENSORE [RAW ID]

INNOVA-SOFTWARE S.R.L. TRACCIA COOPERATIVA EDP LA TRACCIA LUCANA SISTEMI S.r.l. HSH INFORMATICA & CULTURA S.R.L.

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

**GESTIONE ORDINI**

ID	TIPO	DATA	STATO	RAW
1001	SCS	12-DIC-2022	SCADUTO	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1045	DGM	16-DIC-2022	CONSEGNATO	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1046	SCS	16-DIC-2022	DISPONIBILE	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1047	GEC	16-DIC-2022	DISPONIBILE	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1048	SCS	16-DIC-2022	CONSEGNATO	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1057	SCS	16-DIC-2022	IN ERRORE	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1068	DSM	16-DIC-2022	CONSEGNATO	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1077	SCS	10-FEB-2023	CONSEGNATO	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO
1088	SCS	10-AGO-2023	IN ATTESA	LPRF_06_LPRP_RNP02_NOSS_RGAZ_TROPO

**DETTAGLIO ORDINE 1001**

TIPO	SCS
DATA IMMISSIONE	12-DIC-2022
STATO	SCADUTO
RAW	@@@

**PARAMETRI**

SENSORE: [QUICK LOOK](#)

TDBP

EQUALIZZAZIONE

FOCUSING

RESAMPLING

PROIEZIONE IN GROUND

GEOCODIFICA

FORMATTAZIONE

ANALISI QUALITÀ IMMAGINE

MISURAZIONE (M) [INOTTICO POINT TARGETS](#) [REPORT \(PDF\)](#)

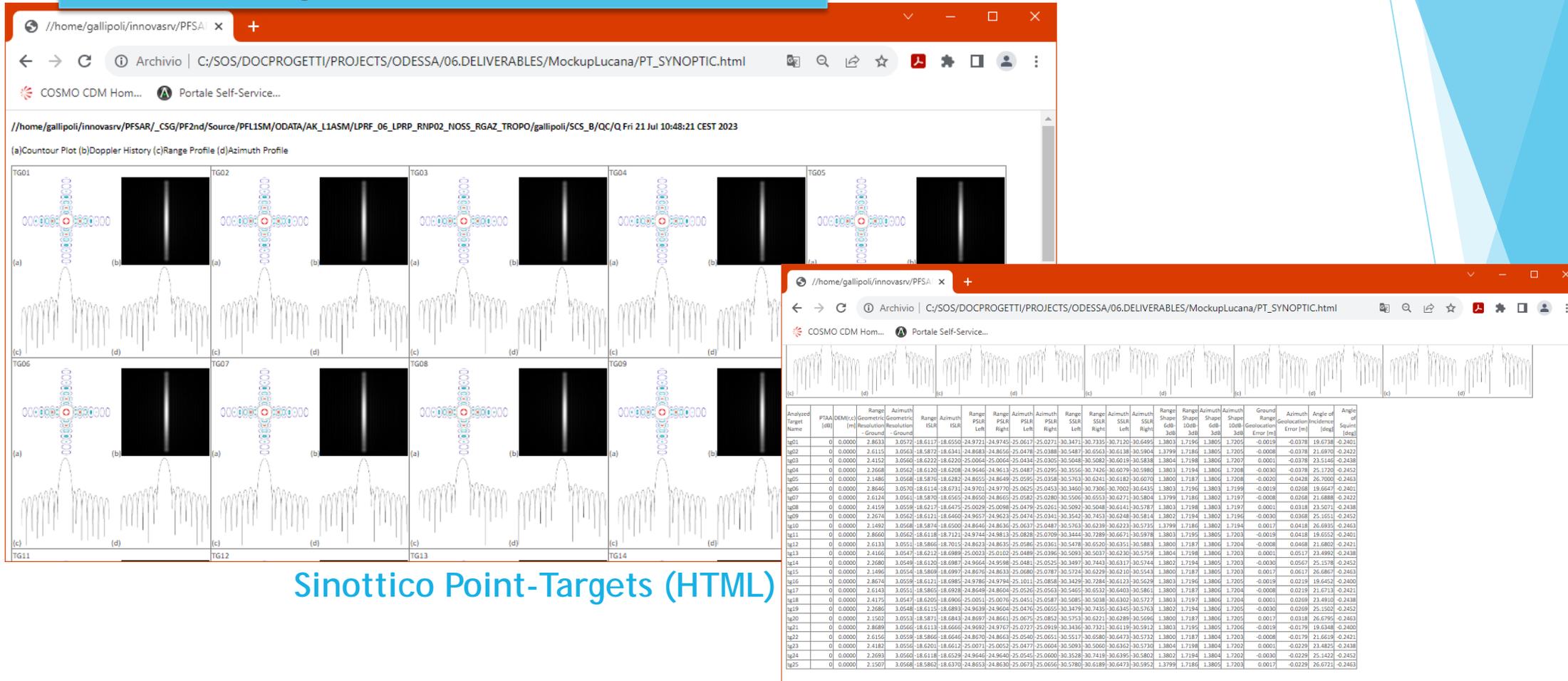
**STUDIO, SPERIMENTAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI ALGORITMI DI FOCALIZZAZIONE ED ANALISI DI DATI SAR**

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI



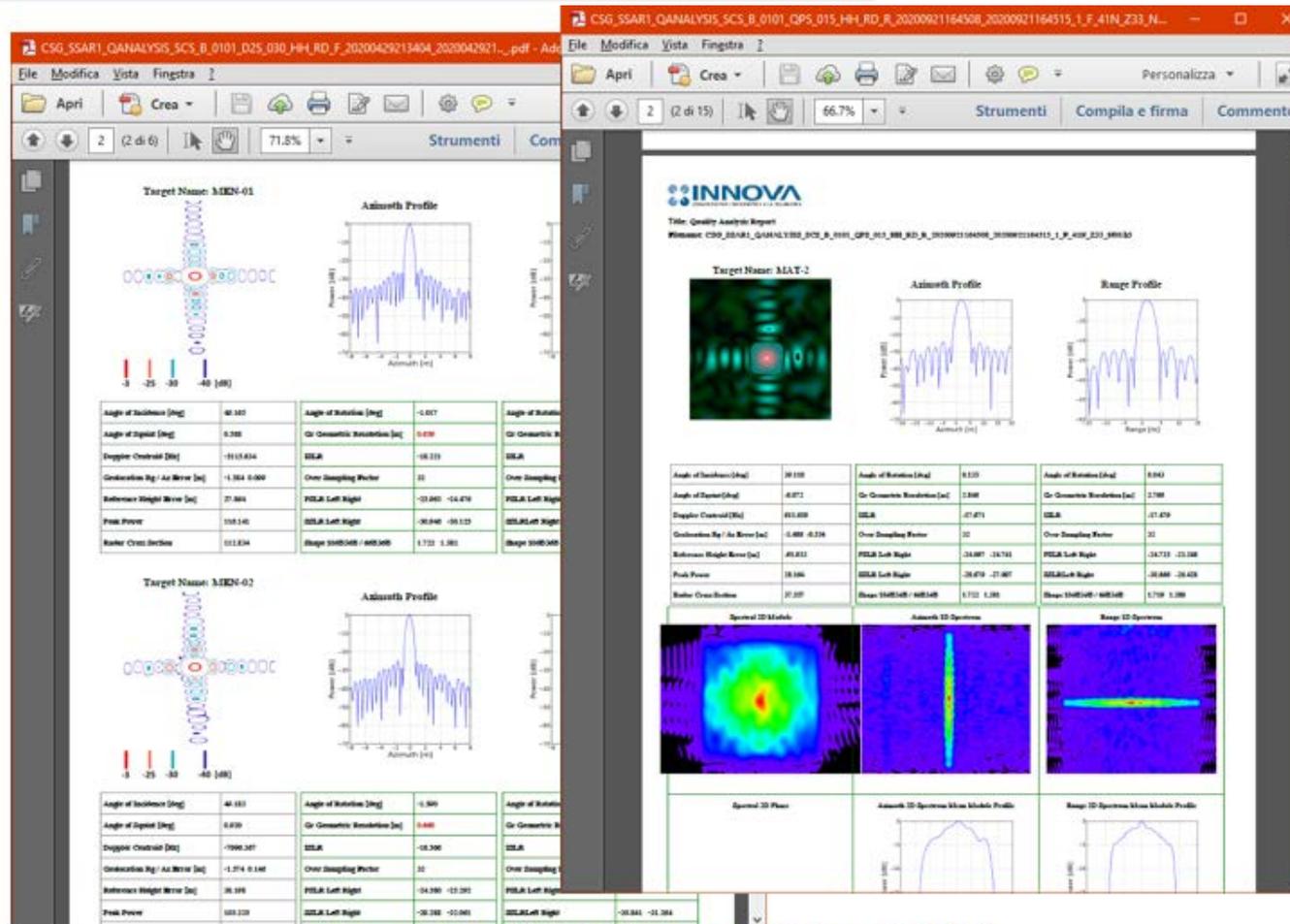
Sinottico Point-Targets (HTML)

# Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



## SAR-Processing-as-a-Service - Interfaccia WEB

## T2.1.5 - LUCANA SISTEMI



Report di qualità dell'immagine in formato PDF

## Realizzazione di una soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR



### T2.1.5 - LUCANA SISTEMI

RISULTATI 1/5

RISULTATI 2/5

RISULTATI 3/5

**Soluzione HW/SW ad alte prestazioni per processing, analisi e validazione di dati SAR**

Soluzione integrata ad alte prestazioni per la gestione completa dell'elaborazione ed analisi di dati SAR, disponibile

- Per installazione su server locale
- Per installazione su Cloud

La soluzione è stata testata su una moltitudine di configurazioni HW/SW, ed implementa un'ampia adattività alle risorse dell'HW su cui è installata (memoria, CPU), scalando conseguentemente le sue prestazioni.



## Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR



### T2.1.3 - LUCANA SISTEMI - T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA

- ▶ L'analisi preliminare riguardante il Deep Learning ed il suo eventuale utilizzo per la focalizzazione e la classificazione dei dati SAR è stata condotta dai team di Lucana Sistemi e de La Traccia partendo dalla formazione propedeutica e proseguendo con studi, approfondimenti, partecipazione a convegni e creazione di tavoli di discussione con interlocutori tecnico/scientifici.
- ▶ In questa fase preparatoria, si è proceduto alla stesura di un progetto preliminare fino alla definizione iniziale dei metodi e dei dati da utilizzare.
- ▶ **Relativamente al tema della classificazione, si è selezionato come problemam introduttivo l'individuazione delle linee di costa su immagini SAR complesse (ampiezza e fase) a media ed alta risoluzione**



Linee di costa ad alta risoluzione

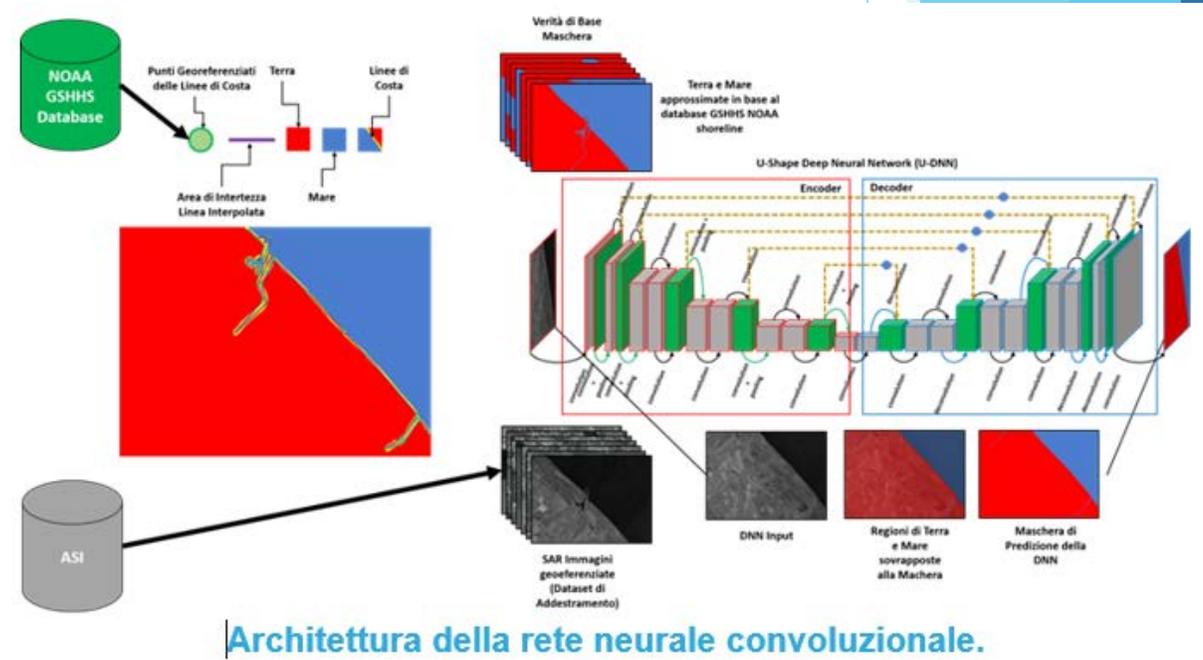
(<https://www.ngs.noaa.gov/CUSP/>)

# Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

## T2.1.3 - LUCANA SISTEMI

### Individuazione delle linee di costa

- ▶ Nella figura sono schematizzate l'architettura delle Rete Neurale Convolutionale e la pipeline per la costruzione dei dataset di training e validazione
- ▶ L'idea è di utilizzare le immagini SAR e il database di dati che mantiene traccia delle linee di costa fornito attraverso una licenza open source da un servizio web offerto dalla National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- ▶ Le due tipologie di dato devono essere preliminarmente «COREGISTRATE»
- ▶ Eseguita la progettazione preliminare, si sono realizzati i tool necessari per la coregistrazione dei due dataset (C++, Python)



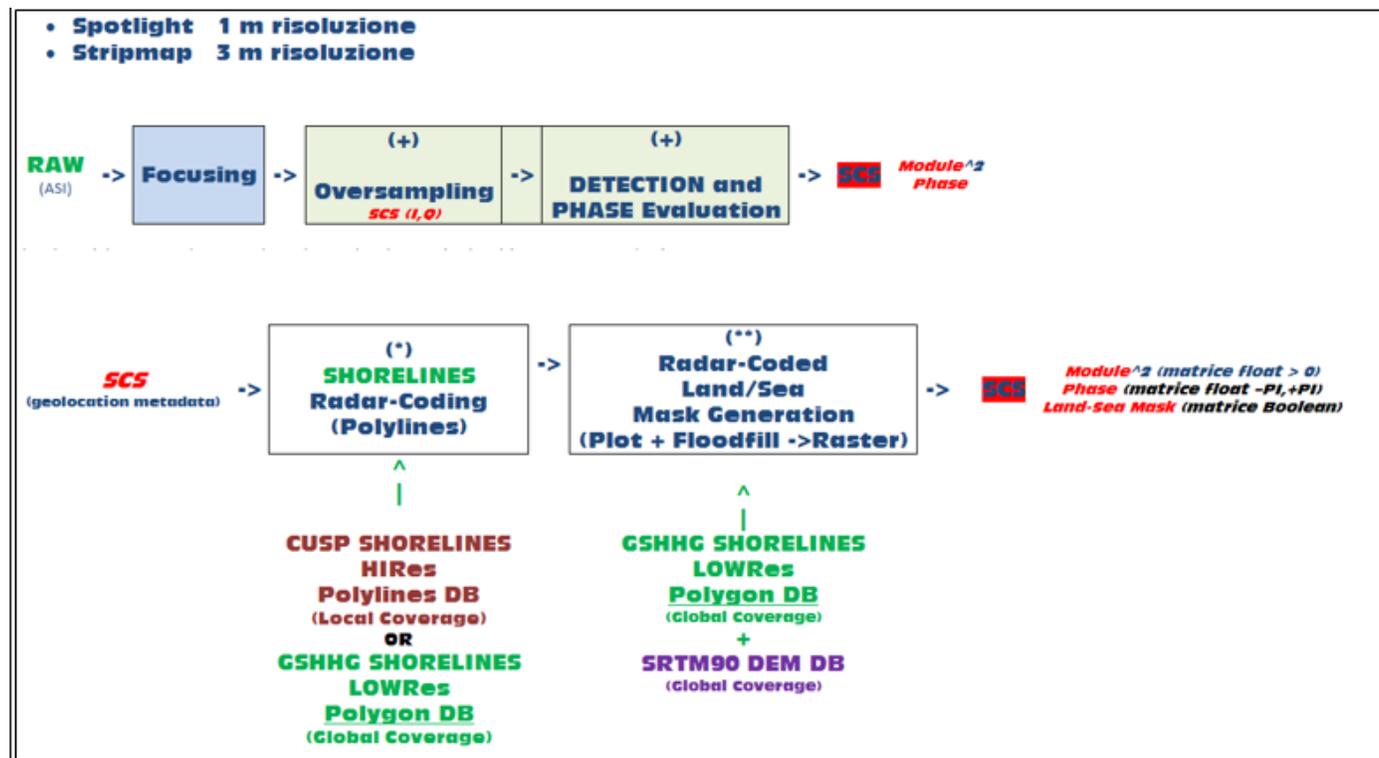
# Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR



## T2.1.3 - LUCANA SISTEMI

### Individuazione delle linee di costa

- ▶ La produzione del dataset di training (e di validazione) avviene in accordo a quanto rappresentato dalla figura sottostante



Workflow per la produzione del dataset di training (Ipotesi Preliminare)

## Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

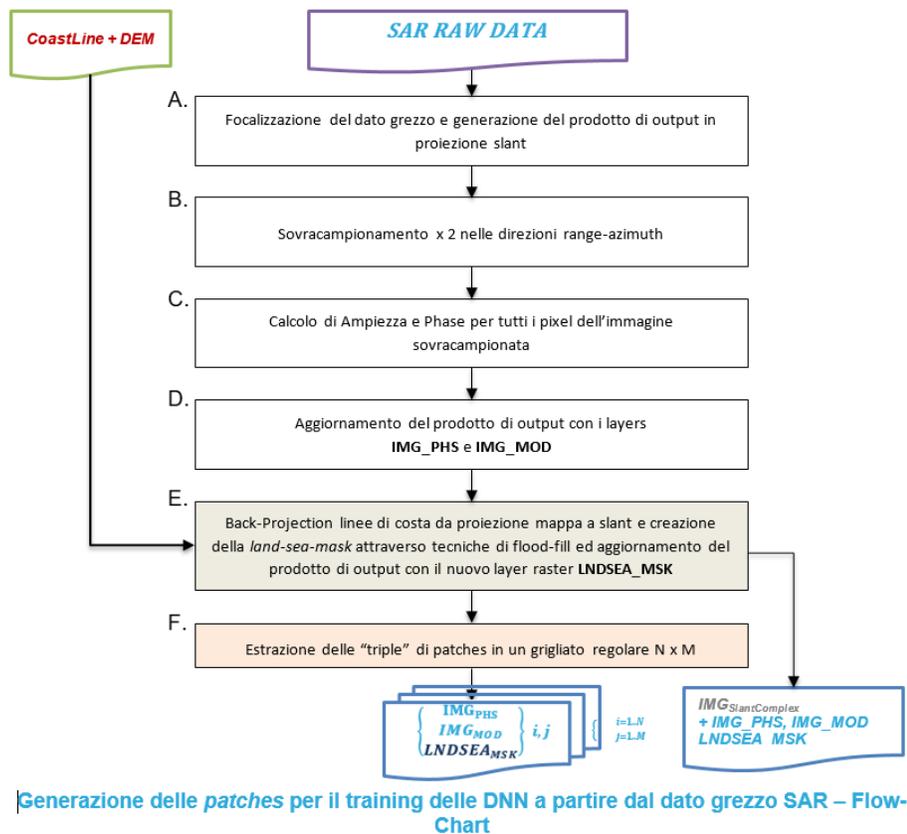
### T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA



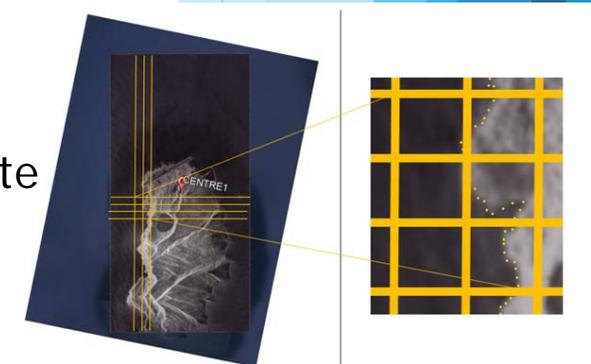
- ▶ Nella fase iniziale del progetto è stato valutato l'utilizzo di tecniche di Deep Learning in contesti tutt'altro che ovvi quali
  - ▶ la eliminazione di errori di fase residui sulle immagini complesse ad altissima risoluzione (< 1m)
  - ▶ la stima dei parametri doppler eseguita su immagini intermedie generate dalla catena di focusing, tipicamente focalizzate solo lungo la direzione range.
- ▶ Sul secondo punto, si precisa che l'utilizzo d'immagini reali risulta imprescindibile visto che i dati simulati di tipo point-target utilizzati per la verifica delle prestazioni di IRF non sono idonei all'estrazione delle informazioni necessarie per la stima del puntamento e delle variazioni di puntamento durante l'acquisizione.
- ▶ Le difficoltà incontrate
  - ▶ nell'ottenere una quantità adeguata di dati grezzi idonei all'applicazione
  - ▶ nel reperire incoraggianti ed esaustivi riferimenti nella letteratura scientifica finora disponibile hanno però sancito il riorientamento *parziale* degli obiettivi
- ▶ Le attività sono state **principalmente** rivolte alla progettazione di una **metodologia** e di **strumenti** totalmente **automatici** per manipolazione di immagini SAR ed alla loro correlazione con dati da altre fonti allo scopo di ricavare dataset adatti **all'addestramento** di Reti Neurali per lo sviluppo di tecniche di **Deep Learning**.

# Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

## T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA



- ▶ Il team di lavoro ha provveduto a mettere a punto il software ed a generare una prima elaborazione dei dati grezzi già concessi in uso dalla Agenzia Spaziale Italiana
  - ▶ riutilizzando strumenti SW resi disponibili da INNOVA
  - ▶ realizzando nuovi tools ad hoc in Python e C/C++.
- ▶ La generazione del dataset è effettuata in accordo al diagramma di flusso a sinistra
- ▶ L'output di ogni elaborazione è un insieme di triple di "patches" ritagliate in un grigliato regolare MxN nelle immagini di ampiezza, di fase e nella corrispondente land-sea-mask.



Estrazione delle *patches* per il training delle DNN visualizzata su una quick-look del layer di ampiezza (IMG\_MOD)

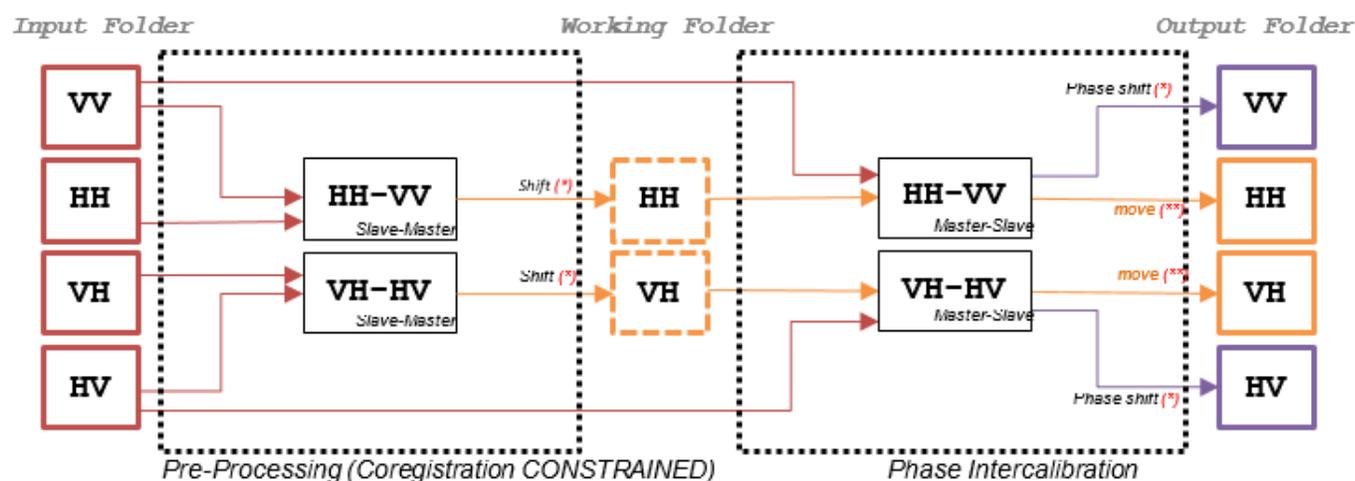
# Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

## T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA



### Estensione del dataset di training della rete neurale alle immagini multi-polarimetriche

- E' stato progettato e messo a punto uno strumento software ad alte prestazioni che consente l'intercalibrazione fine degli stack multi-polarimetrici ad altissima risoluzione con lo scopo di disporre di immagini multi-polarimetriche avanzate totalmente adattate al training di una rete neurale estendendo a queste le tecniche descritte in precedenza ed utilizzando i nuovi layers informativi ricavabili da tali osservazioni.



# Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

## T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA



### Estensione del dataset di training della rete neurale alle immagini multi-polarimetriche

- ▶ Lo strumento consente di coregistrare ed intercalibrare in fase le coppie o le quadruple multi-polarimetriche.
- ▶ Offre contestualmente strumenti investigativi che consentono l'analisi della bontà dell'elaborazione

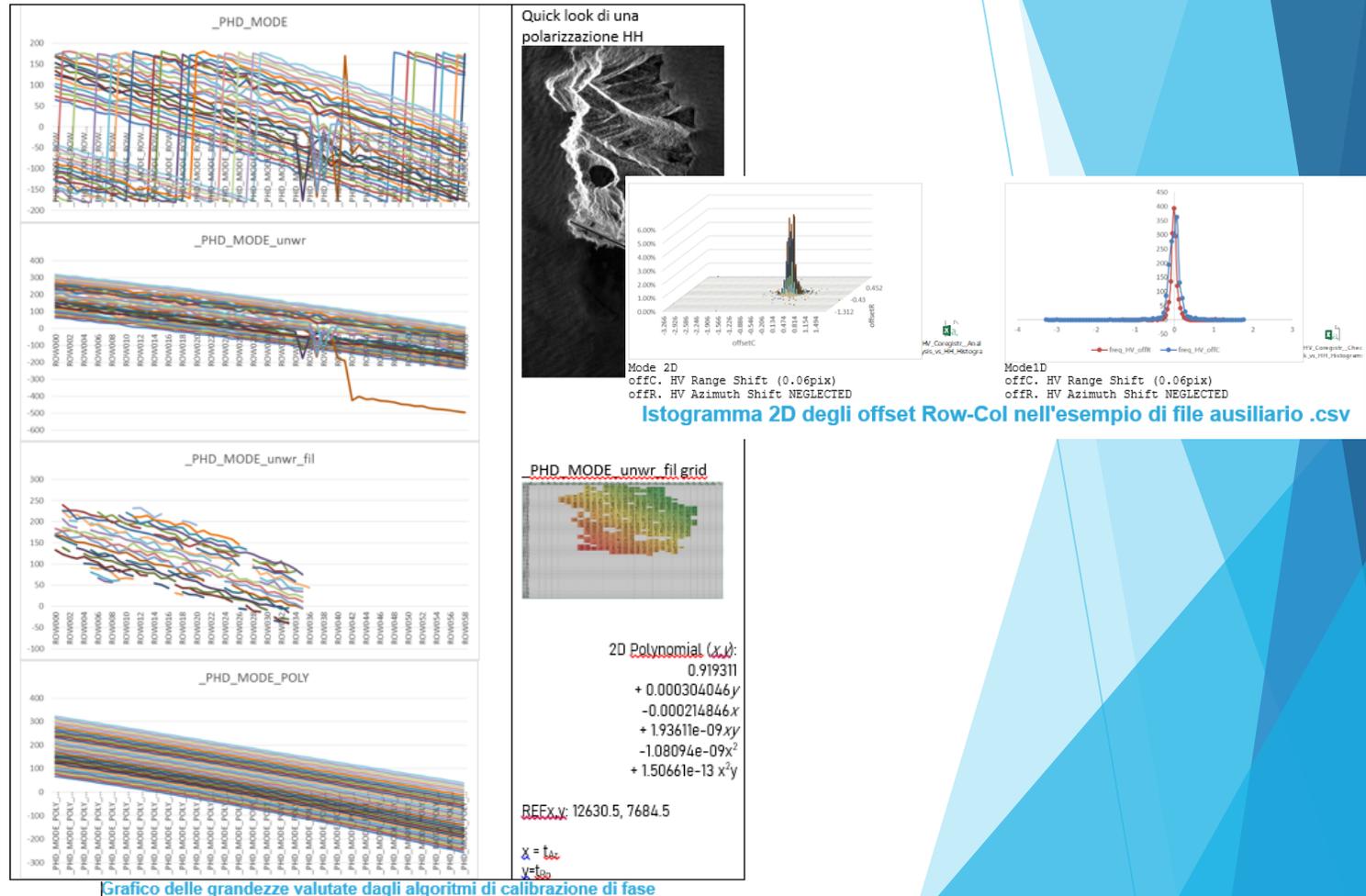


Grafico delle grandezze valutate dagli algoritmi di calibrazione di fase

Esempio di intercalibrazione OQS HH-VV - immagine dell'isola di Annobon nell'Oceano Atlantico.

## Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR



### T2.1.3 - LUCANA SISTEMI

RISULTATI 1/5

RISULTATI 2/5

RISULTATI 3/5

RISULTATI 4/5

#### Tecniche di Deep Learning applicate alla classificazione di dati SAR

Progetto completo per l'applicazione delle Tecniche di Deep Learning al problema della individuazione di linee di costa.

In particolare:

- Si è ipotizzato l'approccio e la tipologia di Rete Neurale
- Si è progettato il dataset di lavoro (SAR + dati da altre fonti)
- Si è definito il flusso di elaborazione dei dati
- Sono state messe a punto le specifiche per costruire i tool automatici indispensabili per la gestione della mole di dati necessaria



## Sperimentazione di tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione ed alla classificazione di dati SAR

### T2.1.4 Coop. EDP LA TRACCIA



DISCIPLINATI 1/5

DISCIPLINATI 2/5

DISCIPLINATI 3/5

DISCIPLINATI 4/5

RISULTATI 5/5

### Tecniche di Deep Learning applicate alla focalizzazione di dati SAR

Strumenti per la gestione e la manipolazione di dati SAR in combinazione con dati da fonti diverse finalizzati all'applicazione di tecniche di Deep Learning. Gli strumenti permettono:

- La pre-elaborazione delle immagini e l'applicazione di eventuali correzioni
- La "sovrapposizione" di *layer* informativi provenienti da altre fonti
- La selezione e la generazione (ritagli) delle patches che vanno a formare:
  - Il Dataset di Training della DNN (Deep Neural Network)
  - Il Dataset di Validazione della DNN



# Deliverable D2.2 - NOTA TECNICA RELATIVA ALL'ALGORITMO DI IMAGE FORMATION DA DATI SAR

## Tabella dei Contenuti

**TITOLO:**

### STUDIO, SPERIMENTAZIONE, IMPLEMENTAZIONE E VALIDAZIONE DI ALGORITMI DI FOCALIZZAZIONE ED ANALISI DI DATI SAR

### NOTA TECNICA RELATIVA ALL'ALGORITMO DI IMAGE FORMATION DA DATI SAR

**WP n.: 2-T2.1**

2.3.3.1.2	Paradigma di parallelizzazione degli algoritmi di image formation	42	95	34	65	90
2.3.3.2	Vista Logica UML del PFL1SLTD	44	102	35	65	90
2.3.3.2.1	Prototipo SW per la generazione di immagini complesse in proiezione slant: PFL1ASLTD	44	103	36	66	91
2.3.3.2.2	Prototipo SW per la generazione di immagini reali in proiezione slant e ground: PFL1BSLTD	53	103	37	66	91
2.3.3.2.3	Prototipo SW per la generazione di immagini reali geocodificate su ellissoide: PFL1CSLTD	53	104	37	66	91
2.7.1.3	Architettura preliminare		105	38	67	94
2.7.1.4	Progettazione preliminare del dataset di dati grezzi COSMO SkyMED per il training		107	38	68	95
Referente WP2 INNOVA	A. Figura 2-45 – Gerarchia Gruppi e Dataset Raster nel file formato PFQUCO-IF				68	95
	Tabella 2-12 – Metadati previsti nel file formato PFQUCO-IF				69	97
	Esempio di intercalibrazione OQS HH-VV - immagine dell'isola di Annobon nell'Oceano Atlantico				70	100
	Figura 2-66 – Immagine della differenza di fase HHVV (miniatura) – prima e dopo la correzione					101
	Figura 2-67 – TraceLevel = 2 – Ulteriori immagini html, KML e istogrammi di fase					102



# Grazie per la cortese attenzione!

**Antonella Gallipoli**  
Earth Observation Unit - Unità Osservazione della Terra



INNOVA s.r.l.

Dir.: +39 0835 1856287, Mob.: +39 347 3685587 e-mail: [gallipoli@consorzio-innova.it](mailto:gallipoli@consorzio-innova.it); [gallipoli@innova-software.it](mailto:gallipoli@innova-software.it) skype: [gallipoli\\_innova](https://www.skype.com/people/gallipoli_innova)

**Sede Legale/ Registered Office:** Recinto Il Fiorentini, 12/21 - 75100 Matera (MT)  
**Sedi Operative/HeadQuarters:** Z.I. La Martella, III Traversa G. B. Pirelli s.n. - 75100 Matera (MT) Tel.: +39 0835 307760 Fax: +39 0835 264705  
Via Adriano Olivetti, 24 - 00131 Roma (RM)  
Via L. Lorusso, 4 - 70022 Altamura (BA)