

NUOVE PROSPETTIVE TECNOLOGICHE CON L'AVVENTO DEI MICROSATELLITI

Ing. Giovanni Nicolai

Presidente Commissione Aerospazio Ordine Ingegneri Provincia di Roma

Membro del CTS CESMA e socio AAA, Sezione Roma 2 Luigi Broglio

Il mondo dei servizi satellitari attraversa una profonda fase di rinnovamento sia tecnologico (con l'avvento dei satelliti di piccole dimensioni SmallSats) che di servizio. Le nuove piattaforme SmallSat LEO in cloud offrono diverse opportunità di integrazione con la Rete 5G a costi enormemente più bassi rispetto alle piattaforme tradizionali GEO e MEO per la mobilitazione di enormi flussi di dati (BigData). Di pari passo si muove la tecnologia che per ridurre i costi degli SmallSat si basa su materiali COTS e su tecniche di comunicazione ben collaudate. Anche i sistemi di lancio potranno diventare economicamente più accessibili mediante lanci con più microsattelliti e/o Aviolanci. Lo Sviluppo dei Servizi con l'Integrazione dello Spazio con la Rete 5G costituirà una Rete Cloud nello Spazio accessibile a tutti gli utenti. Le applicazioni mediante costellazioni di microsattelliti LEO andranno dal Monitoraggio della Terra, al Controllo delle infrastrutture critiche, ai Servizi Internet diffusi su tutte le aree geografiche, ai Servizi IoT che vedono l'utente al centro di questa costellazione di servizi/applicazioni.

INTRODUZIONE: NUOVE PROSPETTIVE TECNOLOGICHE E DI SERVIZIO CON NANO E MICRO SATELLITI

Il mercato degli *SmallSat* si sta evolvendo con velocità crescente nei vari settori applicativi: dall'IT e telecomunicazioni, alla navigazione, all'osservazione della Terra (agricoltura, risorse minerarie, oil & gas, applicazioni marittime, servizi ambientali per enti istituzionali e privati, supporto informativo nelle situazioni di emergenza), alle applicazioni militari.

Il panorama competitivo dei nanosatelliti è globale.

Le previsioni al 2022 riportano volumi di mercato maggiori per il Nord America, seconda l'Europa, seguita da Cina e Giappone.

I piccoli satelliti si trovano su orbite terrestri basse (LEO) tra 400 km e 800 km sopra la superficie terrestre e hanno un tempo di visibilità dalla stazione di terra ricevente nell'ordine di 8-15 minuti. In questo breve periodo, tutte le informazioni raccolte dall'ultimo download a terra devono essere scaricate sulla stazione di terra ricevente. La frequenza più comunemente utilizzata per la trasmissione di dati da piccoli satelliti (nano, micro e mini) è la C (5-6 GHz) e X (7-8 GHz), mentre la banda di frequenza S (2 GHz) viene normalmente utilizzata per telemetria e controllo remoto. La caratterizzazione di questi piccoli satelliti è mostrata in

Figura 1.



Figura 1. Caratterizzazione Piattaforme SmallSat

Proprio come gli smartphone, i satelliti stanno diventando sempre più piccoli e migliori. I Nanosatelliti oggi possono fare quasi tutto ciò che un satellite convenzionale fa, ed anche a una frazione del costo. E

sebbene nessuno contesti che i piccoli satelliti non possano sostituire i più grandi satelliti convenzionali a causa della risoluzione pura di pixel che questi ultimi offrono, sia organizzazioni governative che start-up stanno cercando di ottenere un pezzo della torta, anche di piccole dimensioni. Solo nel 2016 sono stati lanciati circa 300 satelliti con peso compreso tra 1 e 50 kg.

La realizzazione ed il successo di satelliti basati su componenti commerciali è un primo indizio della necessità di un cambio di tecnologie. Le varie iniziative private negli Stati Uniti, tese sia a ridurre drasticamente il costo di lancio dei satelliti che a diminuire il costo del ciclo di vita, hanno portato alla standardizzazione dei satelliti CubeSat che rientrano nella tipologia dei NanoSat (vedi Figura 2.).



Figura 2. Standard CubeSat

I Nano Satelliti sono nati come uno strumento di grande utilità nei progetti di didattica avanzata nel settore spaziale ma, grazie alla continua miniaturizzazione delle componenti elettroniche, hanno presto cominciato ad avere capacità simili a quelle dei satelliti più grandi ed hanno attratto l'attenzione di altri soggetti del mondo aerospaziale per applicazioni di Tele Comunicazione e Osservazione della Terra.

Il breve tempo che passa dal progetto alla realizzazione di un micro satellite consente di utilizzare componenti e carichi utili allo stato dell'arte. Inoltre la standardizzazione, in particolare nella classe Cubesat, ha prodotto due grandi vantaggi: innanzitutto l'esistenza di una vasta comunità di operatori che lavora sulla stessa piattaforma e affronta problemi simili offrendo soluzioni che vengono ampiamente condivise via web. Un secondo vantaggio è che la standardizzazione ha

prodotto automatismi nell'integrazione nei lanciatori. Esistono diversi lanciatori (Vega, PSLV, Dniepr) che accettano Cubesat anche a pochi mesi dal lancio se questi vengono rilasciati dal sistema standard (il PPOD).

LO SPACE CLOUD

Esigenze

I nuovi scenari geopolitici spingono verso una crescente domanda di sicurezza, sia in termini di capacità preventiva che reattiva, sia per ragioni civili che militari. Particolare enfasi va data alla gestione dei flussi migratori ed alla loro distribuzione territoriale, sia in termini di sostenibilità economica che culturale.

I cambiamenti climatici ed i pregressi stress ambientali richiedono una crescente attenzione sia nelle capacità di monitoraggio che di gestione delle emergenze e del dopo disastro naturale.

La gestione della mobilità e trasporto di persone e cose, sia via terra che via aria e mare, sarà sempre più rilevante sia in termini economici che di qualità della vita. Il rispetto della privacy si contrapporrà sempre più alle necessità di identificazione e tracciamento delle merci, sia per ragioni di sicurezza che per ragioni di safety (anche sanitaria).

Visione sugli Scenari Futuri

Il segmento spaziale futuro dovrà essere consapevole del suo livello di sicurezza rispetto all'ambiente circostante, migliorandone la propria capacità di individuazione delle minacce e di contrastare l'attacco.

I futuri segmenti spaziali assomiglieranno sempre più a dei «cloud» nello spazio, con capacità di rilevamento e processori semantici. Il segmento spaziale sarà concepito come parte del World Wide Web.

La capacità di comunicazione (wireless) potrà essere in grado di integrare un motore cognitivo col sistema radio per ottimizzare gli sfruttamenti delle risorse e migliorare contemporaneamente il livello di sicurezza del sistema. Il sistema di comunicazione sarà in grado di "decidere", in base alla sua capacità di rilevare lo stato di rete/canale/ambiente, la scelta migliore in termini di risorse fisiche, protocolli, percorsi di routing dei messaggi.

La robotica, in termini di sistemi spazio-aria-terra, potrà essere considerata come una rete di oggetti intelligenti che incorporano capacità di rilevazione e comunicazione. In questo senso, sia gli UAV (RPAS) che i piccoli satelliti potranno essere considerati come due livelli di sciame robotici capaci di interagire reciprocamente e di raccogliere, elaborare, spostare e memorizzare enormi quantità di dati che il futuro «Internet delle cose» IoT¹ metterà in linea ovunque nel mondo. Vedi

Figura 3.

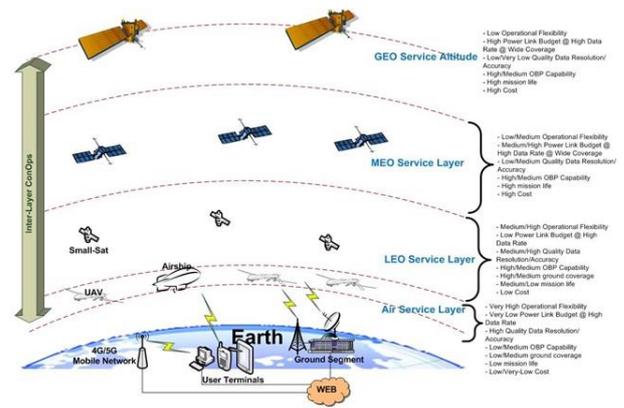


Figura 3. Scenari Futuri

Stratificazione dei segmenti di Servizio

Le aree di nicchia come la copertura aerea e del mare persisteranno, ma per i servizi terrestri la convergenza di fisso, mobile e broadcasting imporrà ad i satelliti di integrarsi con i sistemi terrestri.

Oggi le persone dipendono sempre di più dalle tecnologie avanzate di comunicazione come Internet, computer e telefoni cellulari. I requisiti derivanti da questa specifica domanda possono essere elencati come segue:

- Accesso a tutti i tipi di servizi di tele comunicazione;
- Un unico dispositivo per comunicare con reti diverse;
- Un singolo numero (o indirizzo IP);
- Una singola fattura per tutti i servizi con costi ridotti;
- Accesso wireless affidabile anche con guasto di una o più reti.

Questi requisiti spingono l'approccio attuale di rete verticale a singolo Servizio verso un approccio di rete orizzontale di tipo Multiservizio come evidenziato dalla Figura 4.

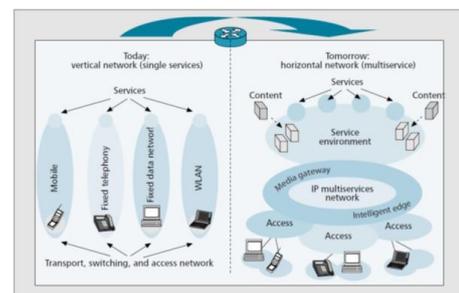


Figura 4. Migrazione verso la Rete Futura di Multiservizio Orizzontale

Per attuare questo approccio orizzontale, l'industria delle telecomunicazioni è alla ricerca di una rete di accesso radio generica collegata ad una rete centrale basata su IP unificato. La collaborazione tra diversi sistemi di accesso sta diventando una questione fondamentale per i futuri sistemi.

¹ IoT: Internet of Things

Le attività di ricerca nei sistemi terrestri si concentrano, quindi, principalmente sulle problematiche relative alla rete radio, come di seguito elencate:

Interfacce aeree più efficienti

- Accesso multiplo multiplo di divisione di codici multicarrier a base di multiplexing a frequenza ortogonale (OFDM);
- Multiple-input multiple-output sistemi (MIMO), antenne intelligenti e codifica spazio-tempo;
- Modulazione e codifica adattiva, controllo di potenza, equalizzazione e diversità.

Reti più efficienti

- Assegnazione dinamica del canale; controllo di ammissione, carico e congestione;
- Strategie di handover adattive;
- Creazione di reti ad hoc;
- Meccanismi cross-layer (IP).

Spettro Radio più efficiente

- allocazione dinamica dello spettro;
- Software e radio cognitiva.

Il concetto di Space Cloud

I requisiti per i satelliti di futura generazione stanno quindi diventando:

- Maggiore integrazione con i sistemi mobili terrestri di futura generazione 5G con l'adozione di standard compatibili;
- Aumento dell'efficienza del sistema con riduzione del costo per bit;
- Elaborazione a bordo flessibile con un gran numero di fasci interconnettibili;
- Sistemi scalabili di satelliti più piccoli e più potenti al fine di evitare costi elevati.

Da qui il concetto di Space Cloud (vedi Figura 5) che è un Cluster di piccoli satelliti con OBP e Payload distribuito a bordo.

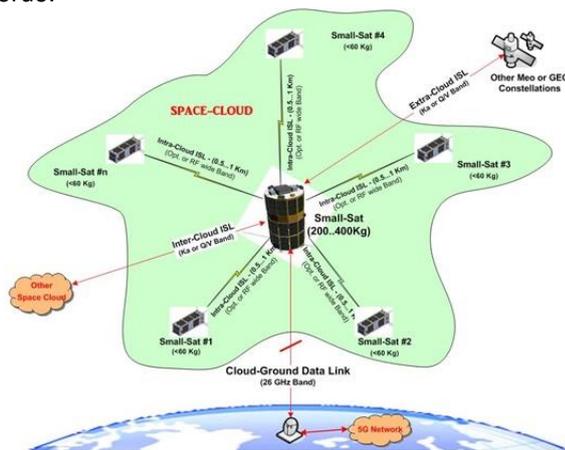


Figura 5. Lo Space Cloud

Le caratteristiche principali dello Space Cloud sono:

Flessibilità

- Elevata flessibilità operativa e più applicazioni per singolo cloud;
- Interoperabilità con altri segmenti spaziali già operanti in orbite LEO/MEO (Copernicus Galileo, etc.) e/o GEO (Athena Fidus, etc);

- Interoperabilità con rete mobile 5G per un facile accesso da parte degli utenti finali (smartphone; tablet; etc) ai dati spaziali con valore aggiunto.

Predittività

- L'uso combinato con sistemi spaziali esistenti e con RPAS può notevolmente incrementare le capacità predittive degli attuali modelli.

Rapidità Reattiva

- Tempi più brevi per i lanci.

SVILUPPO DI TECNOLOGIE COTS PER SMALLSAT

Tecnologie COTS nelle applicazioni spaziali

Le tecnologie COTS (*Commercial-Off-The-Shelf*) stanno assumendo un ruolo sempre più significativo nei piccoli satelliti a standard Cubesat.

La varietà dei prodotti esistenti sul mercato e l'attuale qualità dei VLSI (*Very Large Scale Integration*) commerciali, consente infatti un approccio di tipo COTS nella progettazione e realizzazione di payload per *SmallSat* a costi contenuti.

Dopo aver scelto la tipologia del componente microelettronico commerciale di interesse, tale componente viene sottoposto a prove ambientali ed in particolare a prove di radiazione ionizzante per verificare se sarà in grado di tollerare gli effetti delle radiazioni cosmiche nello spazio.

Per molte applicazioni spaziali l'approccio COTS risulta vincente, permettendo di utilizzare in orbita VLSI commerciali complessi come CPU, Memorie RAM e ROM, ADC, DAC etc. a costi estremamente convenienti. Questo approccio di *upgrading* dei componenti e delle tecnologie impiegate in prodotti di largo consumo può essere esteso anche ad altri ambiti, come quello termico, quello meccanico o quello dell'immunità elettromagnetica per produrre in questo modo strumentazione spaziale moderna a costi ridotti.

Tecnologie COTS in Banda Ka e Tecnologie SDR

Sull'utilizzo di nuove tecnologie COTS applicabili ai NanoSat si segnalano, per applicazioni di Osservazione della Terra EO (*Earth Observation*), gli avanzati sviluppi nei seguenti campi:

- Banda Ka a 26 GHz, in quanto è meno congestionata e fornisce una larghezza di banda 4 volte maggiore della banda X. Il rapporto finale del gruppo di esperti 2016-11-18_LEO26SG dice: "La frequenza di 26 GHz è un'opzione valida per comunicazioni dirette a terra da veicoli spaziali a orbita bassa (LEO). I pianificatori di missione possono trascurare la frequenza di 26 GHz a causa della non familiarità, dei rischi percepiti o della facilità di implementazione di una missione utilizzando un approccio standard. Non avendo preso in considerazione l'utilizzo della banda a 26 GHz, però, le missioni potrebbero mancare le opportunità offerte da frequenza più alte". Le funzioni generiche di un sistema di comunicazione a 26 GHz sono illustrate nello schema a blocchi di

Figura 6. (estratto dal rapporto finale 2016-11-18_LEO26SG).

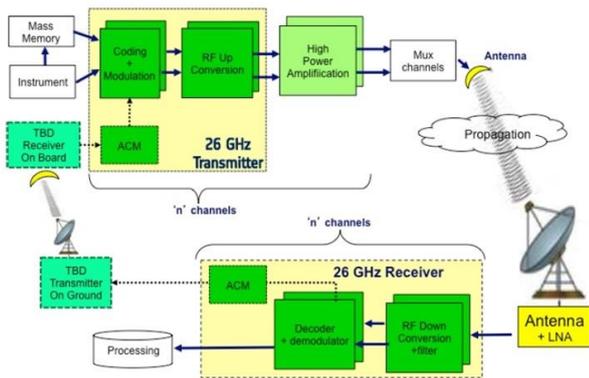


Figura 6. Sistema di Comunicazione a 26 GHz
Estratto dal rapporto finale 2016-11-18_LEO26SG

- Su programmi ESA si stanno sviluppando antenne compatte Ka (antenne patch array con dimensioni 20x20 mm) e apparati RF a basso costo (LNA e SSPA) da installare sui satelliti NanoSat per illuminare la stazione ricevente terrestre con larghezze di fascio sufficienti durante il passaggio in visibilità sull'orbita LEO (8-15 minuti); inoltre i prossimi SSPA in GaN (Gallium Nitride) diventeranno presto una soluzione molto più attraente poiché la loro efficienza e la potenza di uscita (circa 10 W) in genere raddoppieranno le performance dei precedenti SSPA in GaAs (Gallium Arsenide) già esistenti;
- Utilizzo di Tecnologie di Comunicazione SDR con l'utilizzo di Modem basati su processori FPGA2 programmabili per l'elaborazione del segnale (vedi Figura 7) e che forniscono un sistema di comunicazione capace di adattarsi alle condizioni meteorologiche con modulazioni flessibili variabili da 8PSK fino a 64 APSK³ mediante l'utilizzo di Modulazioni e Codici Adattativi (ACM⁴ e VCM⁵) molto robusti.



Figura 7. Scheda FPGA

² FPGA= Field Programmable Gate Array

³ PSK=Phase Shift Keying

⁴ ACM=Adaptive Code Modulation

⁵ VCM=Variable Code Modulation

SVILUPPO TECNOLOGIE COTS PER SATELLITI TLC

Le principali linee di evoluzione nello sviluppo di tecnologie COTS per satelliti di TLC sono:

- Architetture dei Satelliti multi fascio riconfigurabili;
- Allargamento delle Bande di frequenza (vedi Tabella 1);
- Tecniche di accesso TDM/TDMA;
- Tecniche di modulazione e codifica DVB-S2 e DVB-S2X adattabili del tipo ACM e VCM;
- Tecniche di copertura più direttive.

Nome Banda	Banda di frequenza (GHz)	Impiego
L	0,8 – 2,0	LEO
S	2,0 – 3,0	LEO
C	3,0 – 7,0	LEO e GEO
X	7,0 – 10,0	LEO, MEO e GEO (militari)
Ku	10,0 – 17,0	MEO e GEO
Ka	18,0 – 31,0	GEO (nuovi satelliti)
V	31,0 – 60,0	GEO (militari)
W	60,0 – 95,0	GEO (sperimentazione)

Tabella 1. Bande ed impiego satellitare

DVB-S2 e DVB-S2X

Le tecnologie DVB-S2 e DVB-S2X si sono evolute molto velocemente non soltanto nella trasmissione televisiva broadcast da satellite ma anche per reti di trasmissione dati interattive con canale di ritorno (RCS⁶) soprattutto a causa della elevata efficienza di tale sistema di modulazione e accesso adattativi (ACM⁷ e VCM⁸).

Nella Figura 8 sono illustrate le prestazioni dei sistemi DVB-S2 con canale di ritorno (RCS) per trasmissioni asimmetriche.

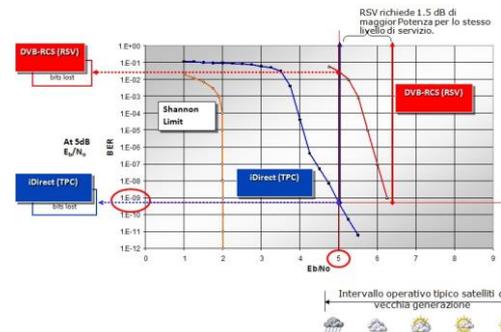


Figura 8. DVB-S e iDirect Legacy

I sistemi si sono ulteriormente evoluti da DVB-S2 a DVB-S2X con l'aumento della Efficienza Spettrale. Le prestazioni a confronto sono mostrate di seguito.

1. Standard DVB-S2

- Aggiornamento del DVB-S con ampio range di modulazioni/FEC e miglioramento di C/N.
- Struttura dei pacchetti più flessibile per protocolli IP a lunghezza variabile invece di 188 Byte fissi del DVB-S progettati solo per la TV digitale.

⁶ RCS: Return Channel System

⁷ ACM: Adaptive Code Modulation

⁸ VCM: Variable Code Modulation

2. DVB-S2X

- Estensione significativa in termini di modulazioni/FEC/efficienza spettrale rispetto al DVB-S2 lanciato nel 2005 per applicare 10 anni di progresso delle tecnologie elettroniche.
- Allineamento con le potenti prestazioni dei satelliti HTS (elevati EIRP e G/T che corrispondono a maggiori SNR)
- Ampio Intervallo SNR rispetto a quello del DVB-S2: 5dB verso l'alto con MODCOD 64/128/256APSK; 7.5dB verso il basso con Spread BPSK
- Migliorata efficienza spettrale: 5%,10%, 15% RoF; granularità più fine anche all'interno del range di C/N del DVB-S2 (vedi Figura 9).

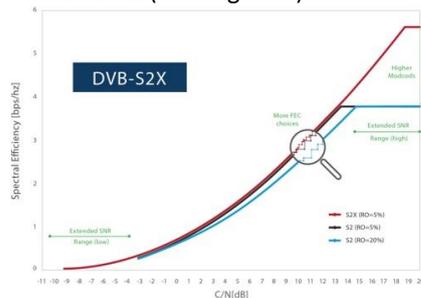


Figura 9. Efficienza Spettrale DVB-S2X

VERSO IL 5G E IL RUOLO DEI SATELLITI

Il mondo del 5G è pensato per i servizi, caratterizzato da bassa latenza, elevatissime affidabilità, disponibilità e sicurezza, offrendo supporto ad un numero elevatissimo di connessioni.

La rete 5G può essere considerata come l'infrastruttura per la quarta rivoluzione industriale, nei settori produttivi, dell'energia, automotive, salute ed intrattenimento.

La tecnologia del 5G si basa sul sistema MIMO (Multi-Input Multi-Output):

1. Multiplazione spaziale: Il segnale complessivo trasmesso è diviso in N segnali con data rate più basso. Gli N segnali sono trasmessi in parallelo da N sistemi di trasmissione distinti, con antenne distinte, utilizzando lo stesso canale radio;
2. Diversità;
 - Tx Diversity. Si trasmette lo stesso flusso informativo su N sistemi. Il sistema sceglie, tra gli N segnali ricevuti, quello migliore;
 - RX Diversity. Il segnale, ricevuto da ciascuno degli N ricevitori, viene sommato in modo da migliorare l'affidabilità e qualità del link;
 - Beamforming: sistema di antenne intelligenti che, coordinando l'ampiezza e fase del segnale da trasmettere, migliorano la direttività del sistema di antenne. E' utilizzato anche per ridurre le interferenze.

Il satellite ed il 5G

L'ESA e l'industria spaziale europea hanno unito le forze

per sviluppare il valore aggiunto che il satellite apporta nel contesto del 5G. I settori selezionati mirati al 5G detti "Verticali" (quali i trasporti, i mezzi di comunicazione, di intrattenimento e la sicurezza pubblica) sono l'obiettivo degli sviluppi congiunti tra ESA e Industria Spaziale Europea. La dichiarazione congiunta tra ESA e Industria Spaziale Europea cita testualmente:

"Il 5G rappresenta un'importante opportunità per la nostra industria spaziale, perché lo spazio ed i satelliti diventino parte integrante della futura generazione di reti e servizi di comunicazione. La dichiarazione congiunta dimostra che i nostri principali soggetti interessati dell'industria sono pronti ad unire le forze in risposta a questa ambizione industriale. L'ESA definirà un quadro di sostegno a questa azione industriale, rafforzando maggiormente e coordinando il supporto istituzionale in Europa ed in particolare con la Comunità Europea".

I sistemi di comunicazione satellitari sono una soluzione interessante per l'estensione della rete terrestre nelle aree rurali, marittime, per gestione di eventi critici o come reti di back up in caso di disastri. Nei GEO la latenza è di circa 250ms (500ms round-trip) accettabile per molti servizi 5G; con le configurazioni MEO si riduce ulteriormente (70 - 80 ms) e LEO (5-10ms); il satellite GEO può essere usato, ad esempio, come CDN a basso costo per consegnare i contenuti più utilizzati in rete o per trasmissioni in broadcast.

A fine giugno 2017 è stata annunciata la nascita di un consorzio per il "Satellite and Terrestrial Network for 5G (SaT5G)" che comprende 16 società. Il consorzio, finanziato dalla EC nell'ambito del programma Horizon 2020 5G PPP Phase 2 for Research & Innovation, ha avviato le sue attività a giugno ed ha una durata di 30 mesi. L'obiettivo è fornire un'integrazione *seamless* del satellite nella rete 5G assicurando accesso ovunque. Il consorzio si concentrerà sull'estendere gli aspetti di security 5G al satellite, esplicitando il multicast per la distribuzione dei contenuti e guidando gli sforzi di standardizzazione in ambito 3GPP ed ETSI. Il consorzio effettuerà una serie di trial e di test-bed dimostrativi in Europa. Il coordinatore del consorzio SaT5G è la società inglese Avanti Communications.

NUOVI SERVIZI PER L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA

Al contrario dei satelliti dedicati alle telecomunicazioni, che sono su orbite geosincrone a circa 36.000 km di altitudine, ovvero osservano costantemente una porzione della superficie terrestre garantendo la continuità del servizio, i satelliti di Osservazione della Terra sono su orbite basse (LEO, *Low Earth Orbit*) e orbitano intorno alla Terra secondo caratteristiche che dipendono dall'inclinazione del piano orbitale. L'inclinazione del piano orbitale e l'altitudine dell'orbita determinano le capacità del satellite di poter osservare porzioni più o meno grandi della superficie terrestre e la frequenza di osservazione giornaliera di una stessa area.

Elevatissime frequenze di osservazione, verranno raggiunte con l'avvento delle costellazioni di micro-satelliti. Attualmente i circa 60 microsattelliti *Doves* della società Planet⁹, acquisiscono dati in continuo lungo la loro orbita (non è possibile fare specifici ordini), e sono disponibili agli utenti dopo 12 ore dall'acquisizione (vedi Figura 10).

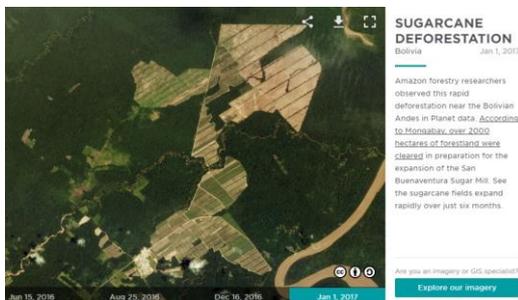


Figura 10. Immagine acquisita da un Cubesat Planet Labs della costellazione Doves (©Planet)

Siamo dunque lontani dalle prestazioni dei grandi satelliti, che oggi consentono di ricevere i dati entro pochi minuti dall'osservazione dell'area e di estrarre il relativo contenuto informativo in circa 15-30 minuti dall'acquisizione, per renderlo disponibile all'utente in tempo quasi-reale (NRT, *Near Real Time*).

Le comunità degli Utenti nei vari settori, sia in campo civile che militare, potranno beneficiare dell'**Image Processing automatico** e del sistema di **Fusion dei dati da diverse sorgenti**. Con queste funzionalità si intende incrementare lo sfruttamento commerciale di serie di **dataset storici** e quindi anche l'utilizzazione dei **satelliti ad alta frequenza di acquisizione** delle costellazioni di satelliti «tradizionali» e di micro e nano satelliti.

CONCLUSIONI

Nati in ambito scientifico ed universitario per effettuare sperimentazioni e progetti dimostrativi, gli *SmallSats* sono oggi protagonisti di un mercato sempre crescente. Essi hanno forti ricadute sul settore industriale dell'aerospazio, sullo sviluppo tecnologico che ne deriva, sull'accelerazione nell'adozione dei paradigmi di cloud computing ed elaborazione di grandi moli di dati, sulla grande disponibilità di informazioni e contenuti per rispondere ad una richiesta sempre maggiore della comunità di utenti a livello globale.

Le attuali prestazioni delle costellazioni di *SmallSat* non sono ancora tali da eguagliare e superare i "sistemi convenzionali", ma organizzazioni sia governative che industriali stanno cercando di aumentare drasticamente, mediante tecnologie DVB-S2X, SDR e sistemi di compressione a bordo, la capacità di dati da trasmettere a terra. Solo nel 2016 sono stati lanciati circa 300 satelliti con peso compreso tra 1 e 50 kg.

⁹ <https://www.planet.com/>

La realizzazione ed il successo di satelliti basati su componenti commerciali è un primo indizio della necessità di un cambio di tecnologie.

Gli *SmallSats* apporteranno vantaggi tangibili, per la protezione ed il monitoraggio dell'ambiente, per la sicurezza e le applicazioni militari e, come sempre accade nella storia dell'aerospazio, le innovazioni in questo campo saranno applicabili anche ad altri contesti della vita quotidiana.

REFERENCES

1. Materiale Seminario dell'Ordine degli Ingegneri di Roma "Lo Spazio in Rete" 13 Ottobre 2017;
2. "Nanosatellite Market: growth up to 2022" (Market Study Report – Luglio 2017);
3. Articolo «Migranti,..» pubblicato 01/07/2015 su adnkronos (website);
4. «Il futuro delle capacità satellitari ai fini della sicurezza in Europa» di di Jean-Pierre Darnis, Nicolò Sartori e Alessandra Scalia, Edizioni Nuova Cultura, Prima edizione dicembre 2016.