

L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA IN CONTINUA EVOLUZIONE

IL MONITORAGGIO DEL PIANETA DELLO SPAZIO HA VISTO GRANDI TRASFORMAZIONI TECNOLOGICHE, FORNENDO UNA MOLE SEMPRE CRESCENTE DI DATI E IMMAGINI. LO SVILUPPO DI TECNICHE BASATE SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE HA POTENZIATO LA CAPACITÀ DI INTERPRETAZIONE. È FONDAMENTALE UN CORRETTO ADDESTRAMENTO DEI MODELLI.

Per Osservazione della Terra (Ot) solitamente si intende il monitoraggio del nostro pianeta dallo spazio. Qui orbitano ormai decine di satelliti con a bordo sensori di diverso tipo che registrano informazioni sulla molteplicità di variabili che caratterizzano i nostri ecosistemi. L'Ot è basata su sistemi molto complessi dal punto vista sia hardware sia software. Ne consegue quindi che i suoi 50 anni e oltre di storia sono caratterizzati da un'evoluzione che ha seguito quella di un'epoca a sua volta segnata da grandi trasformazioni tecnologiche. Le linee di innovazione attraverso le quali l'Ot si è man mano sviluppata riguardano molteplici aspetti che proveremo qui a illustrare in maniera sintetica. Possiamo distinguere due principali categorie: quella rivolta alla generazione del dato informativo, che molto spesso prende la forma di un'immagine, e quella riguardante la sua elaborazione.

Una sempre maggiore risoluzione spaziale e temporale

Partendo dalla prima va premesso che nell'Ot il cuore dell'informazione scaturisce da un'interazione fisica: tra un'onda elettromagnetica e un oggetto, o una superficie, o anche un volume di interesse. Più onde elettromagnetiche con differenti lunghezze d'onda riusciamo a inserire nel processo –tecnicamente questa caratteristica viene detta risoluzione spettrale – più informazioni avremo. La missione italiana iperspettrale Prisma, con un satellite ormai in orbita da 5 anni, riesce a coinvolgere ben 240 onde elettromagnetiche fornendo immagini con pixel di dimensione pari a 30 m. Questa ultima dimensione, che prende il nome di risoluzione spaziale, è il livello di dettaglio che l'immagine riesce a restituire, ed è stato di fatto un altro aspetto in cui la tecnologia ha compiuto

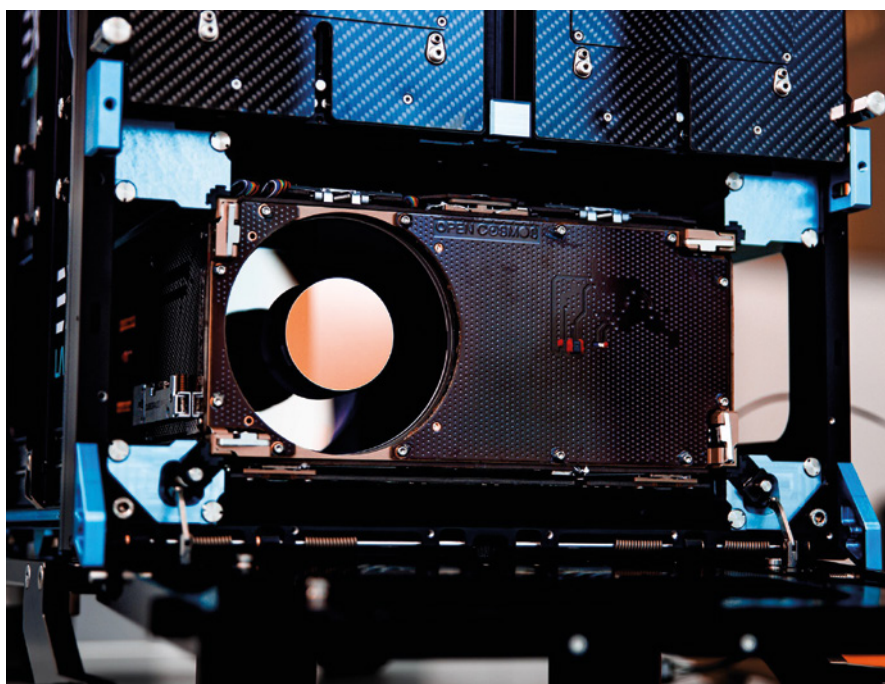


FOTO: OPEN COSMOS

enormi progressi, arrivando a immagini satellitari con risoluzioni spaziali anche inferiori ai 50 cm.

C'è un'altra "risoluzione" che caratterizza l'innovazione nell'Ot: quella temporale, cioè la frequenza con la quale un satellite osserva la stessa area di interesse.

Va a questo proposito precisato che le più importanti missioni dell'Ot, in primis quelle del programma europeo Copernicus, sono caratterizzate da satelliti con orbite polari, cioè che devono attraversare i poli. Tale attraversamento tipicamente limita la risoluzione temporale. Per migliorare questo aspetto ci si rivolge allora sempre più al concetto di costellazione, ossia il lancio in orbita di più satelliti con lo stesso sensore in modo da aumentare i passaggi sulla medesima area.

Oltre che dal programma Copernicus, l'approccio basato su costellazione, con vantaggi in termini di costi, rischi, tempi di sviluppo, è di fatto stato adottato dalle ultime più importanti missioni italiane

di Ot: Cosmo-SkyMed e Iride, nonché da aziende protagoniste del mercato in grado ormai di fornire immagini su zone di particolare interesse su base quotidiana e a un dettaglio spaziale molto alto.

L'interpretazione automatica dei dati

Se passiamo a considerare gli aspetti innovativi riguardanti l'elaborazione del dato, in particolare l'attività finalizzata soprattutto a estrarne informazioni di carattere applicativo, dobbiamo innanzitutto prendere atto del fatto che, proprio per le motivazioni descritte in precedenza, cioè sensori più sofisticati, maggior numero di satelliti in orbita, la quantità di dati e di immagini sui cui lavorare è aumentata esponenzialmente. Impossibile gestire questo flusso di dati solamente guardando le immagini con tecniche di fotointerpretazione.

Si è reso quindi sempre più necessario ricorrere a metodi di interpretazione automatica, ma non solo, è emersa anche l'esigenza di sistemi in cui la velocità di esecuzione fosse adeguatamente alta. Per quest'ultimo aspetto, un ruolo particolarmente importante è stato svolto dai sistemi di *cloud computing*, l'elaborazione quindi è ormai in diversi casi delocalizzata su piattaforme remote molto potenti.

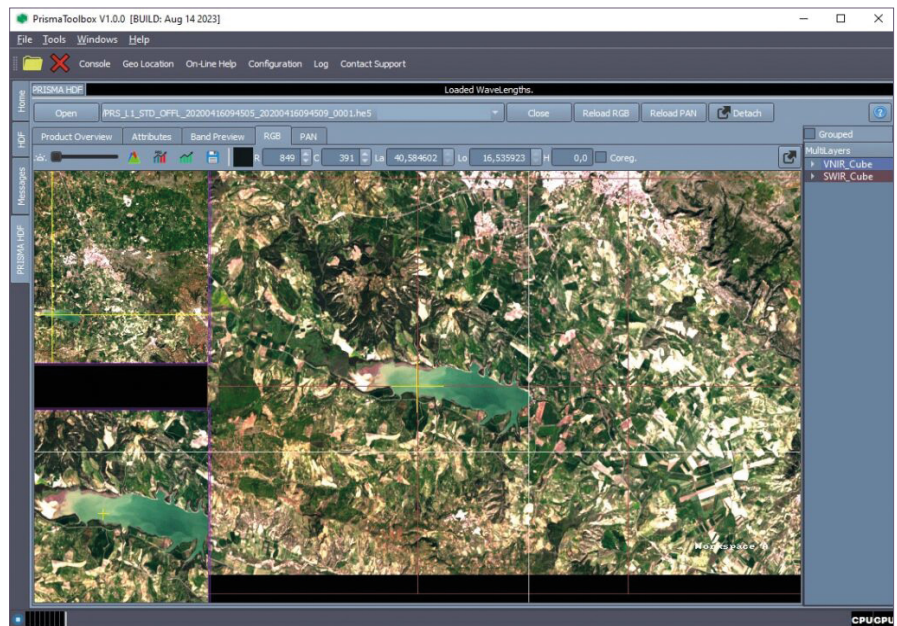
L'impatto dell'intelligenza artificiale

Invece per quanto riguarda il processo di estrazione dell'informazione, è inevitabile considerare l'impatto generato dall'evoluzione di tecniche basate su intelligenza artificiale (Ia) che hanno visto nell'Ot uno dei più fertili domini applicativi.

In realtà le prime applicazioni significative di Ia ai dati di Ot risalgono all'ultima decade dello scorso secolo [1]. In particolare già allora questi algoritmi sembravano avere interessanti potenzialità nel rintracciare relazioni nascoste nella profondità dei dati, risolvendo problemi di stima altrimenti di difficile soluzione.

Il parallelo incremento della disponibilità di immagini e delle capacità computazionali ha poi sempre più favorito l'incontro tra queste due tecnologie, tanto è vero che l'acronimo Ai4Eo (*Artificial intelligence for Earth observation*) è quanto mai attuale e indicativo di future prospettive. Una macchina sofisticata ha tuttavia bisogno di un bravo pilota e i sistemi di Ia sono guidati dai dati (*data-driven*). La qualità dei dati di addestramento è quindi alla base di un buon sistema di Ia per Ot. Anche la quantità di dati disponibile è fondamentale, soprattutto se vogliamo utilizzare modelli di Ia di ultima generazione (per esempio reti neurali convoluzionali), con strutture di elaborazione stratificate su vari livelli. Legata alla quantità c'è anche l'esigenza di disporre di dati statisticamente significativi, in grado cioè di far apprendere il modello in maniera tale

- 1 Il nuovo satellite Esa Phsat-2, equipaggiato con una fotocamera multispettrale e un computer dotato di intelligenza artificiale che analizza ed elabora le immagini in tempo reale (www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Phsat-2).
- 2 Il software Prisma Toolbox per l'analisi dei dati del satellite iperspettrale Prisma di Asi (www.asi.it/scienze-della-terra/prisma).



2

da renderlo capace di generalizzare e comportarsi correttamente nelle fasi operative.

Le condizioni descritte sono necessarie per evitare il deleterio approccio "scatola nera" (*black box*), secondo cui, senza alcuna rigorosità scientifica, i dati disponibili vengono consegnati al modello in modo del tutto inconsapevole, assumendo che il modello sia comunque in grado di trovare una soluzione. Ma il modello, come detto, dipende dai dati e in questo caso quindi la soluzione sarebbe probabilmente poco affidabile.

D'altra parte riuscire a disporre di un numero di dati di buona qualità e statisticamente significativi non è banale. Specialmente se ci rivolgiamo a quella classe di problemi noti come stima di parametro, differente dalle tipiche applicazioni riguardanti l'elaborazione delle immagini, quali l'identificazione e la classificazione di oggetti.

L'addestramento di un modello di Ia in entrambi i casi, infatti, si basa sulla conoscenza di quella che nell'Ot è chiamata "verità a terra". Nel caso, ad esempio, dell'identificazione degli edifici in un'immagine, la verità a terra può anche essere generata da, se pur laboriose, attività di fotointerpretazione. Se invece ci interessa la stima di un parametro biofisico, per esempio l'umidità del suolo, sono necessarie misure sul campo, a volte costose o comunque impegnative. Utilizzando le leggi fisiche e con le dovute approssimazioni è tuttavia possibile ricreare in laboratorio, con una sorta di *digital twin*, il processo che genera i dati, sia le misure di Ot sia la verità a terra. Questo, oltre a fornire la possibilità di aiutare i processi di

addestramento, consente anche un uso consapevole dell'Ia, detto *physics based*, dove cioè i modelli di previsione realizzati sono coerenti con la natura fisica del problema.

Nuovi orizzonti

Inutile dire, per concludere, che il processo di evoluzione tecnologica in questo settore è in continuo movimento e nuovi scenari sono già all'orizzonte [2]. Forse uno tra i più interessanti riguarda l'uso dell'Ia per l'elaborazione del dato già a bordo del satellite (*on-board processing*). Se le immagini contengono informazioni interessanti vengono trasmesse a terra, altrimenti meglio risparmiare memoria e larghezza di banda. Questa è l'approccio tecnologico alla base di Phi-Sat-2, una delle ultime missioni di Ot lanciate dall'Agenzia spaziale europea (Esa). Insomma, monitorare in maniera efficace lo stato del pianeta non è mai stato come oggi alla nostra portata.

Fabio Del Frate

Università degli studi di Roma "Tor Vergata"

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Mas J.F., Flores J.J., 2007, "The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data", *Int. Journal of Remote Sensing*, pp. 617-663.
- [2] Tuia D. et al., 2024, "Artificial intelligence to advance Earth Observation: a review of models, recent trends, and pathways forward", *Ieee Geoscience and Remote Sensing Magazine*.