

GeoAI with Python

*Una guida pratica all'intelligenza
artificiale geospaziale open source*



Qiusheng Wu

GeoAI con Python

Una guida pratica all'IA geospaziale open source

Qiusheng Wu
2026

Contents

| | |
|--|-----------|
| Prefazione | 1 |
| Introduzione | 3 |
| A chi è rivolto questo libro | 4 |
| Cosa tratta questo libro | 5 |
| Come ottenere il massimo da questo libro | 8 |
| Convenzioni utilizzate in questo libro | 9 |
| Scaricare gli esempi di codice | 9 |
| Video tutorial | 10 |
| Comunità e feedback | 10 |
| Informazioni sull'autore | 11 |
| Licenza e copyright | 11 |
| I: Fondamenti | 13 |
| 1. Introduzione a GeoAI | 15 |
| 1.1. Introduzione | 15 |
| 1.2. Obiettivi di apprendimento | 15 |
| 1.3. Cos'è il GeoAI? | 16 |
| 1.4. Applicazioni chiave del GeoAI | 18 |
| 1.5. L'ecosistema Python per il GeoAI | 22 |
| 1.6. Compiti fondamentali dell'IA nell'analisi geospaziale | 24 |
| 1.7. Dai metodi tradizionali ai modelli fondazionali | 31 |
| 1.8. Concetti chiave | 32 |
| 1.9. Esercizi | 33 |
| 2. Configurazione dell'Ambiente | 35 |
| 2.1. Configurazione dell'ambiente | 35 |
| 3. Fondamenti dei Dati Geospaziali | 49 |
| 3.1. Introduzione | 49 |
| 3.2. Obiettivi di apprendimento | 49 |
| 3.3. Dati raster | 49 |
| 3.4. Dati vettoriali | 53 |
| 3.5. Sistemi di riferimento delle coordinate | 56 |
| 3.6. Formati di annotazione per il deep learning | 57 |
| 3.7. Suddivisione in tile e chip delle immagini | 59 |
| 3.8. Concetti chiave | 60 |
| 3.9. Esercizi | 60 |
| II: Acquisizione e preparazione dei dati | 63 |
| 4. Download di Dati di Telerilevamento | 65 |
| 4.1. Introduzione | 65 |
| 4.2. Obiettivi di apprendimento | 65 |
| 4.3. Fonti di immagini satellitari | 65 |
| 4.4. Ricerca con STAC | 67 |
| 4.5. Download di immagini NAIP | 72 |
| 4.6. Download di dati Sentinel-2 | 74 |
| 4.7. Download di dati Landsat | 75 |
| 4.8. Download di dati Vantor Open Data | 77 |
| 4.9. Accesso ai dati vettoriali | 77 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 4.10. | Organizzazione dei dati | 80 |
| 4.11. | Concetti chiave | 80 |
| 4.12. | Esercizi | 81 |
| 5. | <i>Mappatura Interattiva e Visualizzazione</i> | 83 |
| 5.1. | Introduzione | 83 |
| 5.2. | Obiettivi di apprendimento | 83 |
| 5.3. | Creazione di mappe interattive con Leafmap | 84 |
| 5.4. | Lavorare con dati raster sulle mappe | 85 |
| 5.5. | Visualizzazione di dati dal Planetary Computer | 88 |
| 5.6. | Lavorare con dati vettoriali sulle mappe | 92 |
| 5.7. | Mappe a pannello diviso per il confronto | 94 |
| 5.8. | Visualizzazione dei risultati del modello | 95 |
| 5.9. | Buone pratiche per la visualizzazione GeoAI | 97 |
| 5.10. | Concetti chiave | 98 |
| 5.11. | Esercizi | 99 |
| 6. | <i>Creazione di Dati di Addestramento</i> | 101 |
| 6.1. | Introduzione | 101 |
| 6.2. | Obiettivi di apprendimento | 101 |
| 6.3. | La pipeline dei dati di addestramento | 101 |
| 6.4. | Generazione di chip di immagini da una singola immagine | 102 |
| 6.5. | Elaborazione batch di immagini multiple | 106 |
| 6.6. | Elaborazione batch con maschere raster | 111 |
| 6.7. | Considerazioni sulla qualità delle etichette | 111 |
| 6.8. | Organizzazione del dataset | 112 |
| 6.9. | Riepilogo | 113 |
| 6.10. | Concetti chiave | 114 |
| 6.11. | Esercizi | 114 |
| III: | Compiti principali dell'IA | 117 |
| 7. | <i>Riconoscimento di Immagini</i> | 119 |
| 7.1. | Introduzione | 119 |
| 7.2. | Obiettivi di apprendimento | 119 |
| 7.3. | Comprendere la classificazione di immagini | 120 |
| 7.4. | Architetture di classificazione | 121 |
| 7.5. | Preparazione dei dati per la classificazione | 122 |
| 7.6. | Importazione delle librerie | 123 |
| 7.7. | Download del dataset EuroSAT RGB | 124 |
| 7.8. | Esplorazione del dataset | 124 |
| 7.9. | Addestramento di un classificatore ResNet-50 | 126 |
| 7.10. | Grafici della cronologia di addestramento | 127 |
| 7.11. | Valutazione sul set di test | 127 |
| 7.12. | Grafico della matrice di confusione | 128 |
| 7.13. | Visualizzazione delle previsioni | 130 |
| 7.14. | Addestramento di un classificatore EfficientNet-B0 | 131 |
| 7.15. | Confronto dei risultati | 133 |
| 7.16. | Pubblicazione e riutilizzo dei modelli | 133 |
| 7.17. | Concetti chiave | 135 |
| 7.18. | Esercizi | 135 |
| 8. | <i>Rilevamento di Oggetti</i> | 137 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.1. | Introduzione | 137 |
| 8.2. | Obiettivi di Apprendimento | 137 |
| 8.3. | Comprendere il Rilevamento di Oggetti | 138 |
| 8.4. | Architetture di Rilevamento | 139 |
| 8.5. | Preparazione dei Dataset di Rilevamento | 142 |
| 8.6. | Valutazione dei Risultati di Rilevamento | 142 |
| 8.7. | Importazione delle Librerie | 143 |
| 8.8. | Download del Dataset NWPV-VHR-10 | 144 |
| 8.9. | Esplorazione del Dataset | 144 |
| 8.10. | Preparazione del Dataset | 145 |
| 8.11. | Visualizzazione delle Annotazioni Campione | 145 |
| 8.12. | Addestramento di un Modello di Rilevamento Multi-Classe | 146 |
| 8.13. | Visualizzazione delle Metriche di Addestramento | 147 |
| 8.14. | Valutazione con Metriche COCO | 148 |
| 8.15. | Esecuzione dell’Inferenza su Immagini Campione | 148 |
| 8.16. | Visualizzazione dei Rilevamenti | 149 |
| 8.17. | Inferenza in Batch su Immagini Multiple | 150 |
| 8.18. | Pubblicazione e Riutilizzo dei Modelli | 152 |
| 8.19. | Punti Chiave | 154 |
| 8.20. | Esercizi | 154 |
| 9. | Segmentazione Semantica | 157 |
| 9.1. | Introduzione | 157 |
| 9.2. | Obiettivi di Apprendimento | 157 |
| 9.3. | Fondamenti della Segmentazione Semantica | 158 |
| 9.4. | Importare le Librerie | 160 |
| 9.5. | Rilevamento di Edifici da Immagini Aeree | 160 |
| 9.6. | Mappatura delle Acque Superficiali | 166 |
| 9.7. | Rilevamento di Nuvole e Ombre delle Nuvole | 189 |
| 9.8. | Classificazione della Copertura del Suolo | 196 |
| 9.9. | Pubblicare e Riutilizzare i Modelli | 200 |
| 9.10. | Concetti Chiave | 201 |
| 9.11. | Esercizi | 202 |
| 10. | Segmentazione di Istanze | 205 |
| 10.1. | Introduzione | 205 |
| 10.2. | Obiettivi di Apprendimento | 205 |
| 10.3. | Segmentazione di Istanze vs. Segmentazione Semantica | 206 |
| 10.4. | Architettura Mask R-CNN | 207 |
| 10.5. | Download del Dataset FTW | 208 |
| 10.6. | Preparazione dei Dati di Addestramento | 210 |
| 10.7. | Addestramento di un Modello Mask R-CNN | 211 |
| 10.8. | Esecuzione dell’Inferenza | 212 |
| 10.9. | Post-Elaborazione delle Predizioni | 214 |
| 10.10. | Estrazione delle Proprietà Geometriche | 216 |
| 10.11. | Elaborazione in Batch | 219 |
| 10.12. | Punti Chiave | 219 |
| 10.13. | Esercizi | 220 |
| 11. | Traduzione di Immagini | 223 |
| 11.1. | Introduzione | 223 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 11.2. | Obiettivi di Apprendimento | 223 |
| 11.3. | Fondamenti della Traduzione di Immagini | 224 |
| 11.4. | Importazione delle Librerie | 226 |
| 11.5. | Download dei Dati Campione | 226 |
| 11.6. | Visualizzazione del Composito RGB di Input | 227 |
| 11.7. | Super-Risoluzione su Singola Patch | 228 |
| 11.8. | Stima dell'Incertezza | 229 |
| 11.9. | Inferenza a Tessere per Regioni più Grandi | 231 |
| 11.10. | Limitazioni e Precauzioni | 233 |
| 11.11. | Punti Chiave | 234 |
| 11.12. | Esercizi | 235 |
| 12. | <i>Rilevamento dei Cambiamenti</i> | 237 |
| 12.1. | Introduzione | 237 |
| 12.2. | Obiettivi di Apprendimento | 237 |
| 12.3. | Comprendere il Rilevamento dei Cambiamenti | 238 |
| 12.4. | Metodi Tradizionali di Rilevamento dei Cambiamenti | 239 |
| 12.5. | Deep Learning per il Rilevamento dei Cambiamenti | 241 |
| 12.6. | Importare le Librerie | 242 |
| 12.7. | Elenco dei Modelli Disponibili | 243 |
| 12.8. | Configurazione | 243 |
| 12.9. | Scaricare i Dati di Esempio | 243 |
| 12.10. | Visualizzare le Immagini di Input | 244 |
| 12.11. | Inizializzare il Modello ChangeStar | 244 |
| 12.12. | Eseguire il Rilevamento dei Cambiamenti | 245 |
| 12.13. | Visualizzare i Risultati | 246 |
| 12.14. | Utilizzo della Funzione di Convenienza | 247 |
| 12.15. | Confronto delle Varianti del Modello | 248 |
| 12.16. | Regolazione della Soglia | 249 |
| 12.17. | Visualizzare gli Output Salvati | 249 |
| 12.18. | Concetti Chiave | 250 |
| 12.19. | Esercizi | 251 |
| 13. | <i>Regressione a Livello di Pixel</i> | 253 |
| 13.1. | Introduzione | 253 |
| 13.2. | Obiettivi di Apprendimento | 253 |
| 13.3. | Comprendere la Regressione a Livello di Pixel | 253 |
| 13.4. | Architetture di Regressione | 255 |
| 13.5. | Caso di Studio: Predizione dell'NDVI da Immagini Landsat | 256 |
| 13.6. | Metriche di Valutazione | 261 |
| 13.7. | Punti Chiave | 262 |
| 13.8. | Esercizi | 262 |
| IV: | Modelli fondazionali ed embedding satellitari | 265 |
| 14. | <i>Segment Anything per il Geospaziale</i> | 267 |
| 14.1. | Introduzione | 267 |
| 14.2. | Obiettivi di Apprendimento | 268 |
| 14.3. | Come Funziona SAM 3 | 268 |
| 14.4. | Configurazione dell'Ambiente | 269 |
| 14.5. | Segmentazione delle Immagini | 269 |
| 14.6. | Prompt di Punti per la Segmentazione di Istanze | 274 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 14.7. | Prompt di Box per l'Estrazione di Edifici | 281 |
| 14.8. | Segmentazione Batch | 285 |
| 14.9. | Segmentazione a Tessere per Immagini di Grandi Dimensioni | 287 |
| 14.10. | Segmentazione Interattiva | 290 |
| 14.11. | Segmentazione Video | 292 |
| 14.12. | Concetti Chiave | 298 |
| 14.13. | Esercizi | 299 |
| 15. | Modelli Vision-Language | 301 |
| 15.1. | Introduzione | 301 |
| 15.2. | Obiettivi di Apprendimento | 301 |
| 15.3. | Come Funzionano i Modelli Vision-Language | 302 |
| 15.4. | Configurazione dell'Ambiente | 303 |
| 15.5. | Dati di Esempio | 303 |
| 15.6. | Inizializzazione del Processore Moondream | 304 |
| 15.7. | Generazione di Didascalie | 304 |
| 15.8. | Risposta Visiva a Domande | 306 |
| 15.9. | Rilevamento di Oggetti e Localizzazione di Punti | 306 |
| 15.10. | Interfaccia Grafica Interattiva | 309 |
| 15.11. | Analisi a Finestra Scorrevole per Raster di Grandi Dimensioni | 311 |
| 15.12. | Segmentazione Basata su CLIP | 317 |
| 15.13. | Applicazioni Pratiche nell'Osservazione della Terra | 319 |
| 15.14. | Limitazioni e Considerazioni | 320 |
| 15.15. | Concetti Chiave | 321 |
| 15.16. | Esercizi | 321 |
| 16. | Embedding Satellitari | 323 |
| 16.1. | Introduzione | 323 |
| 16.2. | Obiettivi di Apprendimento | 323 |
| 16.3. | Cosa Sono gli Embedding Satellitari? | 324 |
| 16.4. | Configurazione dell'Ambiente | 324 |
| 16.5. | Esplorazione dei Dataset di Embedding Disponibili | 324 |
| 16.6. | Esplorazione degli Embedding Basati su Patch | 326 |
| 16.7. | Visualizzazione degli Embedding | 328 |
| 16.8. | Clustering degli Embedding | 330 |
| 16.9. | Ricerca di Similarità | 332 |
| 16.10. | Addestramento di Classificatori sugli Embedding | 335 |
| 16.11. | Confronto degli Embedding per il Rilevamento dei Cambiamenti | 339 |
| 16.12. | Caricamento dei Dataset con TorchGeo | 341 |
| 16.13. | Lavoro con gli Embedding Temporali TESSERA | 341 |
| 16.14. | Esplorazione degli Embedding Satellitari AlphaEarth | 347 |
| 16.15. | Concetti Chiave | 350 |
| 16.16. | Esercizi | 351 |
| V: | Plugin QGIS | 353 |
| 17. | Configurazione del Plugin GeoAI per QGIS | 355 |
| 17.1. | Introduzione | 355 |
| 17.2. | Obiettivi di apprendimento | 355 |
| 17.3. | Panoramica dell'architettura del plugin | 355 |
| 17.4. | Installazione del plugin QGIS | 356 |
| 17.5. | Configurazione delle dipendenze | 359 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 17.6. | Configurazione dell'accesso a SAM 3 | 363 |
| 17.7. | Gestione della memoria GPU | 364 |
| 17.8. | Verifica degli aggiornamenti del plugin | 365 |
| 17.9. | Punti chiave | 366 |
| 17.10. | Esercizi | 366 |
| 18. | <i>Segmentazione degli Alberi in QGIS</i> | 369 |
| 18.1. | Introduzione | 369 |
| 18.2. | Obiettivi di apprendimento | 369 |
| 18.3. | Panoramica del pannello Segmentazione degli alberi | 370 |
| 18.4. | Caricamento dei modelli pre-addestrati | 370 |
| 18.5. | Esecuzione delle predizioni | 372 |
| 18.6. | Esportazione dei risultati | 375 |
| 18.7. | Considerazioni pratiche | 376 |
| 18.8. | Punti chiave | 377 |
| 18.9. | Esercizi | 377 |
| 19. | <i>Segmentazione dell'Acqua in QGIS</i> | 379 |
| 19.1. | Segmentazione dell'acqua in QGIS | 379 |
| 20. | <i>Modelli Vision-Language in QGIS</i> | 387 |
| 20.1. | Introduzione | 387 |
| 20.2. | Obiettivi di apprendimento | 388 |
| 20.3. | Caricamento del modello Moondream | 388 |
| 20.4. | Descrizione delle immagini | 390 |
| 20.5. | Risposta a domande visive | 392 |
| 20.6. | Rilevamento di oggetti | 393 |
| 20.7. | Localizzazione puntuale | 394 |
| 20.8. | Suggerimenti e limitazioni | 395 |
| 20.9. | Punti chiave | 396 |
| 20.10. | Esercizi | 397 |
| 21. | <i>Segment Anything in QGIS</i> | 399 |
| 21.1. | Introduzione | 399 |
| 21.2. | Obiettivi di apprendimento | 399 |
| 21.3. | Dati di esempio | 399 |
| 21.4. | Caricamento di un modello SAM | 400 |
| 21.5. | Segmentazione guidata da testo | 402 |
| 21.6. | Segmentazione interattiva | 402 |
| 21.7. | Elaborazione in batch | 404 |
| 21.8. | Esportazione dei risultati | 405 |
| 21.9. | Punti chiave | 407 |
| 21.10. | Esercizi | 408 |
| 22. | <i>Segmentazione Semantica in QGIS</i> | 411 |
| 22.1. | Introduzione | 411 |
| 22.2. | Obiettivi di apprendimento | 411 |
| 22.3. | Creazione dei dati di addestramento | 412 |
| 22.4. | Addestramento di un modello | 414 |
| 22.5. | Esecuzione dell'inferenza | 418 |
| 22.6. | Risoluzione dei problemi comuni | 419 |
| 22.7. | Punti chiave | 420 |
| 22.8. | Esercizi | 420 |

| | |
|---|------------|
| 23. Segmentazione di Istanze in QGIS | 423 |
| 23.1. Introduzione | 423 |
| 23.2. Obiettivi di apprendimento | 423 |
| 23.3. Architettura Mask R-CNN | 423 |
| 23.4. Creazione dei dati di addestramento | 424 |
| 23.5. Addestramento di Mask R-CNN | 426 |
| 23.6. Esecuzione dell'inferenza | 428 |
| 23.7. Punti chiave | 429 |
| 23.8. Esercizi | 430 |
| Riferimenti | 431 |

Prefazione

Introduzione

Siamo nel mezzo di una rivoluzione nell'osservazione della Terra. Ogni giorno, i satelliti acquisiscono un volume enorme di dati, tra cui immagini multispettrali, radar, LiDAR e molto altro. Sebbene queste informazioni custodiscano le chiavi per comprendere la vulnerabilità climatica e l'urbanizzazione, il divario tra la raccolta dei dati e la loro applicazione nel mondo reale è rimasto un ostacolo significativo.

È qui che entra in gioco il GeoAI.

Come intersezione tra scienza geospaziale e IA, il GeoAI sta colmando questo divario a un ritmo incredibile. I modelli di deep learning possono ora identificare ogni edificio su larga scala o individuare singoli veicoli su vaste aree. I nuovi modelli fondazionali consentono a questi strumenti di operare in ambienti sconosciuti con un intervento umano minimo. Inoltre, i modelli vision-language e gli agenti autonomi permettono agli analisti di interrogare le immagini e gestire i flussi di lavoro usando semplici comandi. Le attività di digitalizzazione manuale che un tempo richiedevano mesi vengono ora completate in pochi minuti.

Questo libro, "*GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*" è la vostra guida pratica a questa rivoluzione. Si basa su un principio semplice: il modo migliore per imparare il GeoAI è metterlo in pratica. Piuttosto che soffermarsi su teorie astratte, ogni capitolo mette strumenti reali nelle vostre mani, dalla preparazione dei dataset di addestramento all'esecuzione di modelli di deep learning, fino alla visualizzazione e all'interpretazione interattiva dei risultati. Il codice è reale, i dataset sono reali e i problemi rispecchiano quelli che i professionisti incontrano ogni giorno.

L'ecosistema Python per il GeoAI è maturato notevolmente. Librerie come PyTorch, torchgeo e segment-geospatial portano il deep learning all'avanguardia ai professionisti geospaziali, mentre pacchetti come [leafmap](#) e [geoai](#) forniscono interfacce di alto livello che rendono accessibili flussi di lavoro complessi. Le piattaforme di cloud computing e l'accelerazione GPU hanno abbassato la soglia di accesso per l'addestramento e il deployment dei modelli su larga scala. Insieme, questi progressi fanno sì che un ricercatore con un laptop possa ora realizzare ciò che un tempo richiedeva un team di specialisti e una stanza piena di server.

Il nostro percorso inizia dalle fondamenta: comprendere i formati di dati geospaziali, configurare un ambiente di deep learning e padroneggiare la visualizzazione interattiva. Passiamo poi al lavoro essenziale di acquisizione delle immagini satellitari e preparazione dei dataset di addestramento. Da lì, progrediamo attraverso i compiti principali dell'IA che definiscono il telerilevamento moderno: riconoscimento di immagini, rilevamento di oggetti, segmentazione semantica, segmentazione di istanze, traduzione di immagini, rilevamento dei cambiamenti e regressione a livello di pixel. Esploriamo poi la frontiera dei modelli fondazionali, tra cui il Segment Anything Model (SAM), i modelli vision-language e gli embedding satellitari. Infine, una sezione dedicata ai plugin QGIS porta queste capacità di IA in un ambiente GIS desktop familiare, consentendo flussi di lavoro sofisticati senza scrivere codice.

Che siate professionisti GIS che cercano di integrare l'IA nei propri flussi di lavoro, data scientist curiosi delle applicazioni geospaziali, ricercatori che spingono i confini dell'osservazione della Terra o studenti che intraprendono una carriera all'intersezione tra geografia e apprendimento automatico, questo libro vi fornirà le conoscenze e le competenze per trasformare le immagini satellitari in informazioni utili.

Il futuro dell'analisi geospaziale è intelligente, automatizzato e accessibile. Costruiamolo insieme.

A chi è rivolto questo libro

Questo libro è pensato per chiunque voglia applicare l'intelligenza artificiale ai dati geospaziali. Se vi siete mai trovati a osservare un'immagine satellitare chiedendovi come estrarre automaticamente edifici, strade o copertura del suolo, o se avete addestrato modelli di deep learning ma avete avuto difficoltà ad applicarli a dati geografici con proiezioni, coordinate e file di grandi dimensioni, questo libro fa per voi.

Troverete il massimo valore se siete

Un professionista GIS pronto a superare la digitalizzazione manuale e l'interpretazione visiva. Siete esperti di QGIS o ArcGIS e comprendete i concetti di analisi spaziale, ma volete sfruttare il deep learning per automatizzare l'estrazione di elementi, classificare la copertura del suolo su larga scala o rilevare cambiamenti in serie temporali di immagini.

Uno scienziato o ricercatore di telerilevamento che lavora con immagini satellitari o aeree. Comprendete le bande spettrali, la risoluzione spaziale e il pre-processing delle immagini, ma avete bisogno di un ponte pratico verso le moderne tecniche di IA, dall'addestramento di modelli di segmentazione all'applicazione di modelli fondazionali come SAM alle vostre aree di studio.

Un data scientist o ingegnere di apprendimento automatico con esperienza nel deep learning che vuole applicare le proprie competenze ai problemi geospaziali. Avete dimestichezza con PyTorch o TensorFlow e comprendete le CNN e i transformer, ma avete bisogno di una guida sulle sfide uniche dei dati geografici: sistemi di riferimento delle coordinate, suddivisione in tile di grandi raster, gestione di immagini multi-banda e georeferenziazione degli output dei modelli.

Uno studente laureando o un ricercatore a inizio carriera in geografia, scienze ambientali, pianificazione urbana, ecologia o un campo correlato. La vostra ricerca coinvolge dati spaziali e volete incorporare metodi di IA all'avanguardia nella vostra tesi o pubblicazioni, acquisendo al contempo competenze sempre più richieste.

Uno sviluppatore software che costruisce applicazioni geospaziali che richiedono analisi intelligente. Dovete integrare estrazione di elementi, classificazione o rilevamento dei cambiamenti basati sull'IA in applicazioni web, API o pipeline automatizzate, e volete comprendere l'intero flusso di lavoro dall'addestramento del modello al deployment.

Prerequisiti essenziali

Dovreste avere dimestichezza con:

- **Programmazione Python:** variabili, funzioni, classi e importazione di librerie (non è richiesta esperienza avanzata in Python)
- **Analisi dati di base:** lavorare con dati tabulari, filtrare, aggregare e creare grafici
- **Concetti geospaziali fondamentali:** comprendere che i dati hanno una posizione, cosa sono i dati raster e vettoriali, e familiarità di base con i sistemi di coordinate
- **Nozioni di base della riga di comando:** navigare tra le directory, eseguire script e installare pacchetti

Conoscenze utili (ma non necessarie)

- Esperienza con framework di deep learning (PyTorch, TensorFlow)
- Familiarità con i concetti di telerilevamento (bande spettrali, risoluzione spaziale, classificazione delle immagini)
- Precedente esposizione a librerie Python geospaziali (rasterio, geopandas, leafmap)

- Comprensione dei fondamenti dell'apprendimento automatico (addestramento vs. inferenza, overfitting, metriche di valutazione)

Se siete nuovi alla programmazione Python geospaziale

Se siete nuovi alla programmazione Python geospaziale, il seguente libro fornisce un'eccellente introduzione sia ai concetti GIS fondamentali che alla programmazione Python:

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Per coloro interessati alla gestione dei dati spaziali e all'analisi geospaziale basata su SQL, il libro complementare offre una guida completa:

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

Cosa tratta questo libro

Questo libro offre un percorso strutturato dai fondamenti geospaziali alle applicazioni GeoAI pronte per la produzione, fornendovi competenze pratiche attraverso esempi concreti in ogni fase. Ogni capitolo si basa sul precedente, espandendo progressivamente la vostra capacità di applicare l'IA a problemi geospaziali reali.

Parte I: Fondamenti (*Capitoli 1-3*)

Stabilisce le conoscenze e gli strumenti essenziali che sono alla base di tutto il contenuto successivo:

- **Capitolo 1: Introduzione al GeoAI** fornisce una panoramica completa del panorama GeoAI: cos'è, perché è importante e come il deep learning ha trasformato l'analisi geospaziale. Esplorerete i principali compiti dell'IA nel telerilevamento, esaminerete l'ecosistema Python per il GeoAI e comprenderete dove i modelli fondazionali e gli agenti IA stanno portando il settore.
- **Capitolo 2: Configurazione dell'ambiente** vi guida nella configurazione di un ambiente di sviluppo GeoAI completo. Dall'installazione di Python e la gestione dei pacchetti con conda alla configurazione dell'accelerazione GPU con CUDA e PyTorch, questo capitolo garantisce una base solida e riproducibile per tutto il lavoro pratico che segue.
- **Capitolo 3: Formati di dati geospaziali** copre i formati di dati che incontrerete nel libro, inclusi i formati raster come GeoTIFF e Cloud Optimized GeoTIFF (COG), i formati vettoriali come GeoJSON e GeoParquet, e i formati specializzati per il deep learning come le annotazioni COCO e Pascal VOC. Imparerete a leggere, scrivere e convertire tra formati usando Python.

Alla fine della Parte I, avrete un ambiente di deep learning completamente configurato e una solida comprensione dei formati di dati e dei concetti necessari per lavorare con il GeoAI.

Parte II: Acquisizione e preparazione dei dati (*Capitoli 4-6*)

Padroneggia il lavoro critico, ma spesso sottovalutato, di ottenere e preparare dati geospaziali per l'IA:

- **Capitolo 4: Scaricare dati di telerilevamento** insegna come accedere programmaticamente a immagini satellitari, dati di elevazione e altri dataset geospaziali da fonti come Google Earth Engine,

Microsoft Planetary Computer e vari portali di dati aperti. Imparerete a cercare, filtrare e scaricare dati per le vostre aree di studio in modo efficiente.

- **Capitolo 5: Mappatura interattiva e visualizzazione** introduce potenti strumenti di visualizzazione per esplorare i dati geospaziali in modo interattivo. Usando leafmap e altre librerie, creerete mappe interattive, sovrapporrete immagini satellitari, visualizzerete le previsioni dei modelli e costruirete narrazioni visive coinvolgenti. Queste competenze sono essenziali sia per l'analisi esplorativa che per la comunicazione dei risultati.
- **Capitolo 6: Creazione dei dati di addestramento** affronta uno dei passaggi più importanti in qualsiasi pipeline di IA: la preparazione di dataset di addestramento di alta qualità. Imparerete a creare dataset etichettati per compiti di segmentazione, rilevamento e classificazione, incluse strategie di annotazione e come suddividere grandi immagini satellitari in chip di addestramento.

Alla fine della Parte II, sarete in grado di acquisire immagini satellitari da molteplici fonti, visualizzarle in modo interattivo e preparare dataset di addestramento ben strutturati pronti per i modelli di deep learning.

Parte III: Compiti fondamentali dell'IA (*Capitoli 7-13*)

Immergetevi nei compiti fondamentali dell'IA che definiscono l'analisi geospaziale moderna:

- **Capitolo 7: Riconoscimento di immagini** introduce il deep learning per la classificazione di intere immagini. Imparerete a costruire modelli di classificazione delle immagini che identificano tipi di scene, categorie di uso del suolo e caratteristiche geografiche da immagini satellitari e aeree.
- **Capitolo 8: Rilevamento di oggetti** insegna a localizzare e classificare singoli oggetti nelle immagini geospaziali. Dal rilevamento di edifici e veicoli all'identificazione di alberi e pannelli solari, lavorerete con architetture come Faster R-CNN e YOLO adattate per il telerilevamento.
- **Capitolo 9: Segmentazione semantica** copre la classificazione a livello di pixel, assegnando un'etichetta di classe a ogni pixel di un'immagine. Addestrerete modelli per delineare elementi come corpi idrici, vegetazione e aree edificate da immagini satellitari, imparando architetture come U-Net e DeepLabV3+ lungo il percorso.
- **Capitolo 10: Segmentazione di istanze** combina rilevamento e segmentazione, producendo confini precisi per ogni singolo oggetto. Imparerete a distinguere elementi sovrapposti, come le impronte di singoli edifici in aree urbane dense, usando modelli come Mask R-CNN.
- **Capitolo 11: Traduzione di immagini** applica l'IA per trasformare le immagini tra domini diversi, includendo super-risoluzione, traduzione tra sensori e rimozione delle nuvole. Addestrerete modelli su immagini satellitari multispettrali e imparerete a generare output a risoluzione più elevata da input a risoluzione inferiore.
- **Capitolo 12: Rilevamento dei cambiamenti** affronta la sfida di identificare cosa è cambiato tra immagini acquisite in momenti diversi. Dall'espansione urbana e la deforestazione alla valutazione dei danni post-disastro, imparerete sia approcci tradizionali che di deep learning per l'analisi temporale.
- **Capitolo 13: Regressione a livello di pixel** si estende oltre la classificazione per prevedere valori continui per ogni pixel, come l'altezza della chioma, la biomassa, l'umidità del suolo o la densità di popolazione. Addestrerete modelli di regressione su immagini satellitari e imparerete strategie di valutazione specifiche per previsioni continue.

Alla fine della Parte III, avrete esperienza pratica con tutti i principali compiti del GeoAI, comprenderete quando applicare ciascun approccio e sarete in grado di addestrare e valutare modelli per le vostre applicazioni geospaziali.

Parte IV: Modelli fondazionali ed embedding satellitari (*Capitoli 14-16*)

Esplorate la frontiera del GeoAI, dove i modelli fondazionali pre-addestrati stanno ridefinendo ciò che è possibile:

- **Capitolo 14: Segment Anything per il geospaziale** introduce il Segment Anything Model (SAM) e la sua applicazione alle immagini geospaziali. Usando il pacchetto [segment-geospatial](#), imparerete a segmentare immagini satellitari con prompt minimi, estraendo edifici, campi agricoli, corpi idrici e altro senza addestramento specifico per il compito.
- **Capitolo 15: Modelli vision-language** esplora modelli che collegano la comprensione visiva e testuale. Imparerete a interrogare immagini satellitari usando il linguaggio naturale, generare didascalie per scene geospaziali e sfruttare modelli multimodali per compiti come il visual question answering su dati di telerilevamento.
- **Capitolo 16: Embedding satellitari** esplora l'ecosistema in rapida crescita di dataset di embedding satellitari pre-calcolati da modelli fondazionali. Imparerete a esplorare, caricare e visualizzare embedding da nove dataset inclusi Clay, TESSERA e AlphaEarth di Google, eseguire ricerca per similarità e clustering, e addestrare classificatori leggeri su vettori di embedding.

Alla fine della Parte IV, comprenderete come i modelli fondazionali stanno trasformando il GeoAI e sarete attrezzati per applicare queste tecniche avanzate alla vostra ricerca e ai vostri progetti.

Parte V: Plugin QGIS (*Capitoli 17-23*)

Portate le capacità del GeoAI nell'ambiente GIS desktop familiare di QGIS attraverso il plugin GeoAI:

- **Capitolo 17: Configurazione del plugin GeoAI per QGIS** guida attraverso l'installazione e la configurazione del plugin GeoAI per QGIS. Userete l'installatore di dipendenze integrato o configurerete un ambiente Pixi con supporto PyTorch e CUDA, installerete il plugin e imparerete a gestire la memoria GPU per eseguire grandi modelli di IA all'interno di QGIS.
- **Capitolo 18: Segmentazione degli alberi in QGIS** dimostra il pannello Tree Segmentation per il rilevamento delle chiome degli alberi e degli oggetti ecologici. Caricherete modelli pre-addestrati per alberi, uccelli, bestiame, nidi e alberi morti, configurerete i parametri di predizione per singole immagini e grandi tile, ed esporterete i risultati in formati vettoriali, raster e dati di addestramento.
- **Capitolo 19: Segmentazione dell'acqua in QGIS** copre il pannello Water Segmentation per il rilevamento automatico dei corpi idrici usando OmniWaterMask. Configurerete l'ordine delle bande per diversi sensori, regolerete i parametri di inferenza basata su patch, integrerete i dati di OpenStreetMap per il perfezionamento ed esporterete le maschere d'acqua come dati raster e vettoriali.
- **Capitolo 20: Modelli vision-language in QGIS** dimostra il pannello Moondream VLM per l'interazione in linguaggio naturale con le immagini geospaziali. Genererete didascalie delle immagini, porrete domande sulle caratteristiche visibili, rileverete oggetti con bounding box e localizzerete elementi con marcatori puntuali.
- **Capitolo 21: Segment Anything in QGIS** dimostra il pannello Segment Anything per la segmentazione interattiva e automatizzata. Caricherete SAM 3, segmenterete oggetti usando prompt testuali, eseguirete la segmentazione interattiva con prompt puntuali e a riquadro, elaborerete lotti di elementi ed esporterete risultati georeferenziati.
- **Capitolo 22: Segmentazione semantica in QGIS** copre il flusso di lavoro completo dall'addestramento all'inferenza per la classificazione a livello di pixel senza scrivere codice. Creerete dataset di addestramento, sceglierete tra architetture come U-Net, DeepLabV3+ e SegFormer, addestrerete modelli personalizzati ed eseguirete l'inferenza con vettorizzazione e smoothing.

- **Capitolo 23: Segmentazione di istanze in QGIS** dimostra il rilevamento di oggetti a livello di istanza usando Mask R-CNN. Creerete dati di addestramento per istanze in formato PASCAL_VOC, addestrerete modelli per rilevare e delineare singoli oggetti e userete l'output per-oggetto per conteggio, misurazione e analisi spaziale.

Alla fine della Parte V, sarete in grado di eseguire flussi di lavoro GeoAI sofisticati direttamente all'interno di QGIS, rendendo l'analisi basata sull'IA accessibile ai professionisti GIS senza richiedere competenze di programmazione Python.

TemI trasversali

- **Pratica sul campo:** Ogni concetto è accompagnato da esempi di codice eseguibili che utilizzano dati geospaziali reali.
- **Strumenti open source:** Tutto il software utilizzato nel libro è gratuito e open source, garantendo accessibilità e riproducibilità.
- **Flussi di lavoro scalabili:** Tecniche che funzionano su un laptop e si scalano all'infrastruttura cloud.
- **Applicazioni reali:** Esempi tratti dal monitoraggio ambientale, dall'analisi urbana, dall'agricoltura e dalla risposta ai disastri.
- **Riproducibilità:** Tutto il codice e i dati sono disponibili su GitHub, consentendovi di riprodurre ogni risultato del libro.

Come ottenere il massimo da questo libro

Per massimizzare la vostra esperienza di apprendimento con questo libro, considerate le seguenti raccomandazioni:

Configurate il vostro ambiente in anticipo: Seguite attentamente il Capitolo 2 per configurare il vostro ambiente Python con supporto GPU. Molti compiti GeoAI beneficiano significativamente dell'accelerazione GPU, e un ambiente correttamente configurato vi farà risparmiare tempo considerevole nel corso del libro. Se non disponete di una GPU locale, il libro fornisce indicazioni sull'uso di piattaforme GPU cloud come Google Colab.

Seguite il codice passo dopo passo: Questo libro è progettato per essere interattivo. Non limitatevi a leggere il codice. Digitatelo, eseguitelo e osservate i risultati. Modificate i parametri, provate dataset diversi e sperimentate. La comprensione viene dalla pratica, e gli esempi pratici sono il cuore di questo libro. Quando qualcosa non funziona come previsto, resistete alla tentazione di saltare avanti. Il debugging è una delle esperienze di apprendimento più preziose, e le competenze di risoluzione dei problemi che svilupperete vi accompagneranno per tutta la vostra carriera nel GeoAI.

Procedete in ordine attraverso i capitoli: Sebbene i professionisti esperti possano saltare a specifici argomenti, i capitoli si basano l'uno sull'altro. I concetti introdotti nei capitoli precedenti (configurazione dell'ambiente, formati di dati, tecniche di visualizzazione) sono utilizzati in tutto il libro. Se saltate avanti, fate riferimento ai capitoli precedenti quando necessario.

Usate i vostri dati: Sebbene il libro fornisca dataset per ogni esempio, il vero apprendimento avviene quando applicate queste tecniche a dati che vi interessano. Provate a eseguire i modelli di segmentazione su immagini della vostra area di studio, o addestrate un modello di rilevamento di oggetti su elementi rilevanti per la vostra ricerca.

Accogliete gli errori: L'addestramento di modelli di deep learning implica iterazione. I modelli non convergeranno sempre al primo tentativo, le previsioni non saranno sempre perfette e le GPU occasionalmente esauriranno la memoria. Queste sono opportunità di apprendimento. Il libro affronta

le insidie comuni e le strategie di debugging, ma sviluppare l'istinto per diagnosticare i problemi viene dall'esperienza.

Costruite un progetto portfolio: Man mano che progredite nel libro, identificate un problema geospaziale che vi interessa e applicate le tecniche che state imparando. Un progetto completo, dall'acquisizione dei dati all'addestramento del modello alla visualizzazione, dimostra le vostre competenze molto più efficacemente di qualsiasi certificazione.

Restate aggiornati: Il GeoAI è un campo in rapida evoluzione. Nuovi modelli fondazionali, architetture e strumenti emergono regolarmente. Il repository GitHub del libro viene aggiornato periodicamente con nuovi contenuti ed esempi per continuare il vostro percorso di apprendimento.

Convenzioni utilizzate in questo libro

Questo libro utilizza diverse convenzioni per aiutarvi a navigare nel contenuto e comprendere gli esempi di codice:

Formattazione del codice: Tutto il codice Python appare in carattere a spaziatura fissa all'interno di blocchi di codice. Quando il codice appare nel testo normale, è formattato in questo modo. I nomi di file e directory, i nomi dei pacchetti e i nomi delle funzioni sono anch'essi formattati in carattere a spaziatura fissa.

Esempi di codice: La maggior parte degli esempi di codice è completa e eseguibile. Includono commenti che spiegano i concetti chiave e le tecniche dimostrate. Ecco un tipico esempio usando la libreria leafmap:

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Importazione dei pacchetti: All'inizio di ogni capitolo, tutte le importazioni necessarie sono elencate. I pacchetti chiave che incontrerete nel libro includono:

- `geoai` - flussi di lavoro GeoAI di alto livello (opengeoai.org)
- `leafmap` - visualizzazione geospaziale interattiva (leafmap.org)
- `samgeo` - SAM per dati geospaziali (samgeo.gishub.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - deep learning con PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` - lettura e scrittura di dati geospaziali

Figure e mappe: Le mappe interattive sono renderizzate direttamente nei notebook Jupyter. Nell'edizione cartacea, vengono mostrate istantanee statiche con didascalie che descrivono le funzionalità interattive disponibili nella versione online.

Scaricare gli esempi di codice

Tutti gli esempi di codice e i materiali supplementari di questo libro sono disponibili gratuitamente su GitHub: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Tutti i dataset di esempio sono disponibili su Source Cooperative: <https://source.coop/opengeos/geoai>

Per scaricare i materiali, potete utilizzare uno dei seguenti metodi:

- **Clonare il repository** (consigliato se avete Git installato):

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Scaricare come ZIP** (se preferite non usare Git):
 - Visitate la pagina del repository GitHub
 - Cliccate il pulsante verde **Code**
 - Selezionate **Download ZIP**
 - Estraiete i file nella posizione preferita
- **Sfogliare singoli file** online attraverso l'interfaccia GitHub o il sito web del libro su book.opengeoai.org

Il repository viene aggiornato regolarmente con correzioni, miglioramenti e ulteriori esempi. Controllate periodicamente per gli aggiornamenti, o mettete una **stella** e **seguite** il repository su GitHub per essere notificati dei cambiamenti.

Se trovate errori nel codice o avete suggerimenti per miglioramenti, aprite una issue o inviate una pull request su GitHub. I contributi della comunità aiutano a migliorare questa risorsa per tutti.

Video tutorial

A complemento del contenuto scritto, questo libro è supportato da video tutorial che illustrano i concetti chiave e forniscono dimostrazioni aggiuntive:

<https://youtube.com/@giswqs>

I video sono progettati per complementare, non sostituire, il materiale scritto. Sono particolarmente utili per:

- Chi apprende visivamente e trae beneficio dal vedere il codice scritto ed eseguito in tempo reale
- Comprendere flussi di lavoro complessi come l'addestramento e l'inferenza dei modelli attraverso procedure passo dopo passo
- Vedere come affrontare problemi geospaziali e risolvere errori comuni
- Apprendere suggerimenti e buone pratiche per lavorare con grandi dataset satellitari

Ulteriori video tutorial verranno aggiunti man mano che il libro evolve. Iscrivetevi al canale per restare aggiornati sui nuovi contenuti.

Comunità e feedback

Accolgo con piacere feedback, domande e suggerimenti dai lettori. Il vostro contributo aiuta a migliorare il libro e lo rende più utile per la comunità GeoAI.

Per domande e discussioni relative al libro:

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

Per domande specifiche sui pacchetti:

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>

- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Tipi di feedback particolarmente utili:

- Errori o spiegazioni poco chiare nel testo o nel codice
- Suggerimenti per ulteriori esempi, dataset o casi d'uso
- Segnalazioni di problemi di compatibilità con diversi sistemi operativi, configurazioni GPU o versioni delle librerie
- Idee per nuovi argomenti o tecniche GeoAI emergenti da trattare
- Storie di successo su come avete applicato le tecniche del libro al vostro lavoro

Informazioni sull'autore

Il Dr. Qiusheng Wu è Professore Associato e Direttore degli Studi di Dottorato nel Dipartimento di Geografia e Sostenibilità dell'Università del Tennessee, Knoxville. È anche Amazon Scholar. La ricerca del Dr. Wu si concentra sull'avanzamento dell'analisi geospaziale open-source attraverso il cloud computing e il GeoAI, con un'enfasi sull'utilizzo di big data geospaziali e intelligenza artificiale per studiare i cambiamenti ambientali, in particolare le dinamiche di inondazione delle acque superficiali e delle zone umide.

È il creatore e manutentore di diversi pacchetti Python open-source ampiamente utilizzati, tra cui [geemap](https://geemap.org)¹ per la visualizzazione interattiva di Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² per la mappatura geospaziale versatile, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ per l'applicazione del Segment Anything Model ai dati geospaziali, e [geoai](https://opengeoai.org)⁴ per i flussi di lavoro GeoAI di alto livello. I suoi progetti open-source, disponibili attraverso l'organizzazione [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ su GitHub, sono stati ampiamente adottati da ricercatori, educatori e professionisti in tutto il mondo.

Il lavoro del Dr. Wu unisce telerilevamento, osservazione della Terra e intelligenza artificiale per rendere i dati geospaziali su larga scala più accessibili, riproducibili e intelligenti. È appassionato di scienza aperta e crede che i migliori strumenti per comprendere il nostro pianeta debbano essere disponibili gratuitamente per tutti.

Licenza e copyright

Questo libro abbraccia i principi della scienza aperta e dell'educazione aperta. Per supportare la trasparenza, l'apprendimento e il riutilizzo, gli **esempi di codice** in questo libro sono rilasciati sotto licenza [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Ciò significa che siete liberi di copiare, modificare e distribuire il codice, anche per scopi commerciali, purché venga dato un credito appropriato.

Si prega di attribuire l'uso del codice citando il libro o collegandosi al repository GitHub:

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Mentre il codice è disponibile liberamente, il **testo, le figure e le immagini** in questo libro sono **protetti da copyright** © 2026 dall'autore e non possono essere riprodotti, ridistribuiti o modificati senza esplicita

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

autorizzazione. Ciò include tutti i contenuti scritti, i diagrammi personalizzati e le visualizzazioni incorporate, salvo diversa indicazione.

Se desiderate riutilizzare o adattare qualsiasi materiale non-codice dal libro (ad esempio, per insegnamento, presentazioni o pubblicazioni), contattate l'autore per richiedere l'autorizzazione.

Questo approccio di doppia licenza aiuta a bilanciare l'accesso aperto ai materiali didattici con la protezione del lavoro creativo originale. Grazie per rispettare questi termini e supportare la comunità geospaziale open-source.

Una guida pratica all'intelligenza artificiale geospaziale open source

L'intelligenza artificiale sta trasformando il modo in cui analizziamo e comprendiamo il nostro pianeta.

GeoAI with Python è la guida pratica definitiva per applicare tecniche di IA ai dati geospaziali, dalle immagini satellitari e fotografie aeree ai dataset vettoriali e agli archivi di osservazione della Terra.

Ogni capitolo include un notebook Jupyter con dati reali, così puoi seguire passo dopo passo e riprodurre ogni risultato. Che tu sia un professionista GIS che esplora l'IA o un data scientist che lavora con dati spaziali per la prima volta, questo libro unisce entrambi i mondi.

Qiusheng Wu è professore associato presso l'Università del Tennessee e Amazon Scholar. È il creatore di diversi pacchetti Python geospaziali open source ampiamente utilizzati, tra cui geemap, leafmap, segment-geospatial e geoai. I suoi progetti sono disponibili su <https://github.com/opengeos>.

Cosa imparerai

- Scaricare e preparare dati di telerilevamento da NAIP, Sentinel-2 e cataloghi STAC
- Addestrare modelli di deep learning per segmentazione, rilevamento di oggetti e classificazione della copertura del suolo
- Applicare modelli fondamentali come SAM 3, Moondream e embedding satellitari a problemi reali
- Costruire mappe interattive e visualizzazioni per l'analisi geospaziale
- Utilizzare plugin QGIS per segmentazione, addestramento, inferenza e modelli visione-linguaggio



Scansiona il codice QR per visitare il sito web del libro e scaricare gli esempi di codice da <https://book.opengeoai.org>

