GIS e integrazione dei dati geospaziali

Obiettivi formativi

Al termine di questa unità, gli studenti saranno in grado di:

- Spiegare il concetto di Sistema Informativo Geografico (GIS) e di integrazione dei dati geospaziali.
- Descrivere i sistemi di coordinate, le proiezioni e i sistemi di riferimento spaziale.
- Utilizzare database spaziali, come Oracle Spatial, per gestire dati georeferenziati.
- Integrare dataset ambientali mediante join spaziali e operazioni di sovrapposizione.
- Visualizzare e analizzare dati ambientali su mappe interattive.
- Interpretare i risultati delle analisi spaziali a supporto delle decisioni in materia ambientale.

Introduzione

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) sono progettati per raccogliere, memorizzare, gestire, analizzare e visualizzare dati associati a posizioni specifiche sulla superficie terrestre. Questi sistemi utilizzano hardware, software, dati e strumenti analitici per rappresentare, recuperare e sfruttare relazioni e configurazioni spaziali nei dati geografici, in numerosi ambiti applicativi. La rappresentazione dei dati su una mappa e le successive possibilità di analisi e visualizzazione trovano applicazione in numerosi settori della vita quotidiana, tra cui navigazione e traffico, consegne a domicilio, pianificazione urbana e città intelligenti, monitoraggio delle malattie, agricoltura e produzione alimentare, mercato immobiliare e pianificazione territoriale, previsioni meteorologiche e allerte per calamità, istruzione e formazione, gestione e riciclaggio dei rifiuti, turismo e patrimonio culturale, tutela ambientale e azioni per il clima.

Sebbene le applicazioni GIS siano estremamente numerose e utili in molti settori, in questa unità ci concentreremo sul loro impiego in ambito ambientale. Grazie alle loro caratteristiche, i GIS offrono un potente quadro di riferimento per organizzare e interpretare grandi volumi di dati ambientali. Questi dati descrivono processi naturali e impatti antropici sull’ambiente, tra cui qualità e inquinamento dell’aria e dell’acqua, cambiamenti nell’uso del suolo, deforestazione, perdita di biodiversità e variabilità climatica. Tali fenomeni non si manifestano in modo uniforme nello spazio, ma variano in funzione del luogo, della scala e del tempo. Collegando i dati alla posizione

geografica, i GIS permettono di comprendere non soltanto che cosa accade nell'ambiente, ma anche dove e perché. Nelle scienze ambientali, in cui la maggior parte dei dati possiede una componente spaziale, i GIS sono quindi diventati strumenti essenziali per gestire e interpretare informazioni complesse. Consentono inoltre a ricercatori, pianificatori e decisori di collegare le misurazioni ambientali ai luoghi, visualizzando distribuzioni, individuando tendenze e sostenendo una gestione ambientale basata su evidenze.

Lo sviluppo dei GIS rappresenta un'importante evoluzione dalle tradizionali basi di dati tabellari verso sistemi informativi in grado di gestire esplicitamente la dimensione spaziale. I sistemi tradizionali di gestione dei dati si basavano prevalentemente su tabelle, in cui le informazioni sono memorizzate in righe e colonne. Pur essendo efficaci per dati numerici e testuali, queste basi di dati non sono di per sé sufficienti a rappresentare relazioni spaziali. Per esempio, una tabella di misurazioni dell'inquinamento atmosferico può riportare valori relativi a città diverse, ma non mostra come i livelli di inquinamento varino nello spazio o come siano associati ad aree industriali, arterie stradali o condizioni meteorologiche vicine. Con l'aumento della potenza di calcolo e la disponibilità di mappe digitali è diventato possibile combinare dati descrittivi e dati spaziali, permettendo analisi più avanzate e l'identificazione di distribuzioni, relazioni e tendenze difficilmente rilevabili nei soli dati non spaziali.

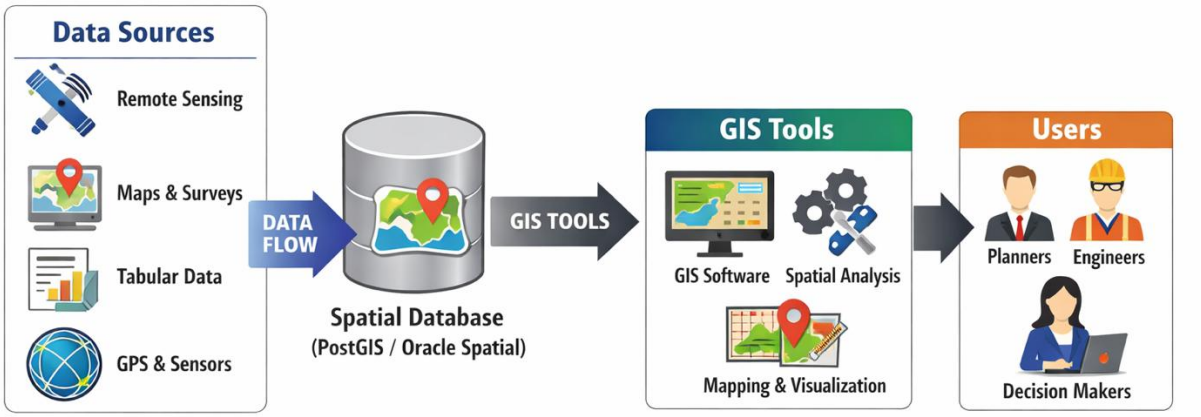

Figura 3.1 Architettura concettuale di un moderno sistema GIS (immagine generata con OpenAI ChatGPT il 4 febbraio 2026, a partire dal prompt «Un diagramma: fonti di dati → database spaziale (PostGIS / Oracle Spatial) → strumenti GIS → utenti»).

È noto che i dati ambientali possiedono intrinsecamente una dimensione spaziale. Fenomeni come inquinamento, deforestazione, alluvioni e cambiamenti climatici variano nello spazio e nel tempo. Sebbene i dati tabellari possano memorizzare misurazioni ambientali, non consentono di individuare facilmente configurazioni e relazioni spaziali. I GIS superano tale limite collegando

direttamente le misurazioni ambientali, come la concentrazione di inquinanti o la percentuale di copertura forestale, a elementi spaziali quali punti, linee, aree e coordinate geografiche, rappresentati su mappe e immagini satellitari. Diventano così possibili analisi di prossimità, operazioni di sovrapposizione e modellazione spaziale [1], [2].[1][2]

Figura 3.2 Confronto tra un dataset tabellare dell'indice di qualità dell'acqua (WQI) e una mappa GIS che mostra i punti di campionamento e i valori del WQI lungo il fiume Tigri nell'estate 2019 (immagine adattata da [3]).[3]

Table 9
The calculated WQI and WQR for two seasons in 2018 and 2019.

Season	Month	2018		2019	
		WQI	WQR	WQI	WQR
Summer	May	144.60	Poor	145.25	Poor
	June	139.02	Poor	209.19	Very Poor
	July	157.60	Poor	161.67	Poor
	August	135.86	Poor	139.10	Poor
	September	142.28	Poor	144.34	Poor
	October	141.42	Poor	142.96	Poor
Winter	November	138.88	Poor	144.43	Poor
	December	138.69	Poor	138.69	Poor
	January	139.14	Poor	139.31	Poor
	February	148.05	Poor	149.15	Poor
	March	152.79	Poor	153.95	Poor
	April	223.08	Very Poor	227.92	Very Poor

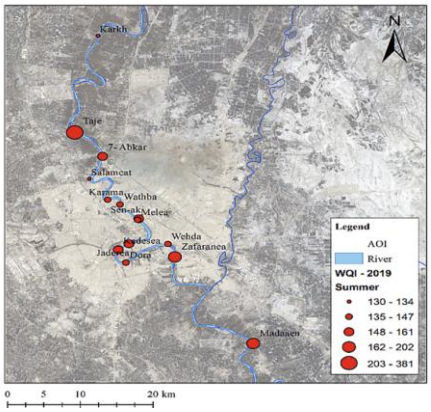

Figura 3.2 Confronto tra un dataset tabellare dell'indice di qualità dell'acqua (WQI) e una mappa GIS che mostra i punti di campionamento e i valori del WQI lungo il fiume Tigri nell'estate 2019 (immagine adattata da [3]). [3]

Importanza dei dati geospaziali nell'analisi ambientale

I dati geospaziali svolgono un ruolo fondamentale nella comprensione dei processi ambientali e nell'affrontare le sfide ecologiche. Sostengono inoltre numerosi studi ambientali e le decisioni che ne derivano. Secondo la NASA [4], [5] e l'USGS [13], molte attività di monitoraggio ambientale si basano in misura rilevante su dati spaziali ottenuti da telerilevamento, misurazioni sul campo e rilievi geografici. I GIS consentono di integrare queste diverse fonti in un unico sistema di riferimento spaziale.[4][5][13]

Utilizzando i GIS, i ricercatori possono analizzare la distribuzione degli inquinanti e comprendere meglio i modelli di inquinamento atmosferico e idrico; monitorare le modifiche nell'uso del suolo, nella copertura vegetale e nei processi di deforestazione; identificare le aree esposte a rischi naturali; valutare gli impatti dei cambiamenti climatici. Per esempio, l'analisi spaziale può individuare concentrazioni elevate di inquinanti vicino ad aree industriali, seguire la deforestazione nel tempo tramite immagini satellitari, monitorare l'espansione urbana oppure rappresentare le

tendenze regionali di temperatura e precipitazioni. Queste informazioni favoriscono una pianificazione ambientale più consapevole, il monitoraggio e la gestione sostenibile delle risorse naturali.

Nelle sezioni seguenti sono presentati alcuni esempi diffusi dell'impiego dei GIS nell'analisi ambientale.

Monitoraggio dell'inquinamento

I GIS sono ampiamente utilizzati per analizzare l'inquinamento atmosferico, idrico e del suolo. Rappresentando su una mappa le misurazioni, i ricercatori possono individuare configurazioni spaziali, come aree con elevate concentrazioni di inquinanti in prossimità di insediamenti industriali o delle principali vie di trasporto, e rilevare correlazioni tra livelli di inquinamento, densità di popolazione, uso del suolo o condizioni meteorologiche. Per esempio, le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria raccolgono dati sul particolato PM2.5; i GIS permettono di rappresentarli sull'intera città e individuare le zone in cui si osservano livelli costantemente elevati, sostenendo misure di mitigazione mirate e decisioni delle amministrazioni pubbliche.

Uso del suolo e deforestazione

I cambiamenti nell'uso e nella copertura del suolo costituiscono un altro importante ambito di ricerca ambientale in cui i GIS sono essenziali. Le immagini satellitari analizzate tramite GIS permettono di monitorare nel tempo deforestazione, espansione urbana e sviluppo agricolo. L'analisi spaziale rende possibile confrontare mappe della copertura del suolo relative ad anni diversi, quantificare i cambiamenti e individuare le tendenze [6]. Per esempio, la deforestazione può essere monitorata attraverso dati satellitari sulla copertura del suolo: l'analisi GIS può calcolare la superficie forestale perduta in un decennio e identificare le regioni più esposte a futura deforestazione (Figura 3.3).[6]Figura 3.3 Dati sulla perdita di copertura arborea nella Macedonia del Nord e relativa rappresentazione GIS sulla mappa satellitare del Paese, da Global Forest Watch [7].

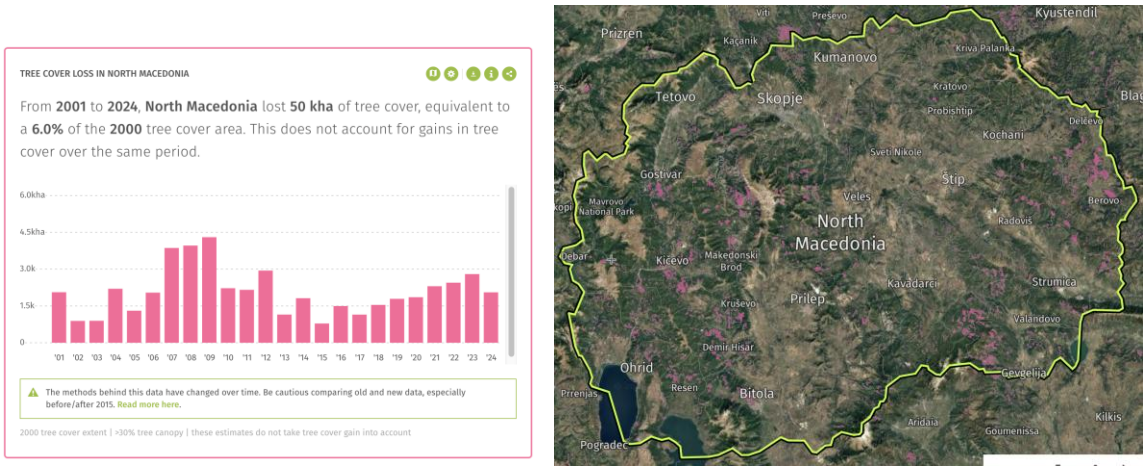

Figura 3.3 Dati sulla perdita di copertura arborea nella Macedonia del Nord e relativa rappresentazione GIS sulla mappa satellitare del Paese, da Global Forest Watch [7].

[7]

Clima e cambiamenti ambientali

I dati climatici, come temperatura, precipitazioni e innalzamento del livello del mare, presentano una dimensione spaziale e spesso continua. I GIS ne supportano l'analisi mediante modellazione e visualizzazione basate su dati raster. La NASA Earth Observatory [4] evidenzia l'importanza dei GIS per comprendere la variabilità spaziale dei fenomeni climatici e i loro impatti sull'ambiente. Per esempio, i modelli climatici possono essere visualizzati in un GIS per mostrare le variazioni della temperatura media in una regione e individuare le aree vulnerabili a ondate di calore o siccità. Inoltre, i GIS consentono di visualizzare e analizzare dati storici e attuali su tornado e uragani in regioni e intervalli temporali diversi, sostenendo decisioni informate per la sicurezza dei cittadini.[4]

Modelli di dati geospaziali: raster e vettoriali

Nei GIS, i dati geospaziali sono comunemente rappresentati mediante due principali modelli: raster e vettoriale (Figura 3.4). Ciascun modello si presta a tipologie diverse di informazioni.Figura 3.4 Modelli di dati vettoriali e raster (immagine adattata da [8]).

I dati raster rappresentano lo spazio geografico come una griglia di celle o pixel, ciascuno dei quali contiene un valore, come temperatura, quota o categoria di copertura del suolo. Sono particolarmente importanti nelle applicazioni ambientali perché si prestano a rappresentare fenomeni continui, quali temperatura, altitudine, precipitazioni e copertura del suolo derivata da immagini satellitari. Sono comunemente impiegati nella modellazione climatica, nel telerilevamento e negli studi ecologici. Per esempio, un'immagine satellitare sullo stato della vegetazione è memorizzata come dato raster, in cui ogni pixel rappresenta la densità della vegetazione.

I dati vettoriali, invece, rappresentano elementi geografici mediante punti, linee e poligoni definiti da coppie di coordinate. Questo modello è adatto a oggetti ambientali discreti, come fiumi, strade, aree protette, stazioni di monitoraggio, foreste, laghi e confini amministrativi. Per esempio, le stazioni di monitoraggio della qualità dell'acqua sono rappresentate mediante punti, i fiumi mediante linee e le zone umide protette mediante poligoni.

Insieme, questi modelli consentono agli studiosi dell'ambiente di rappresentare e analizzare sia i processi naturali sia le attività umane.

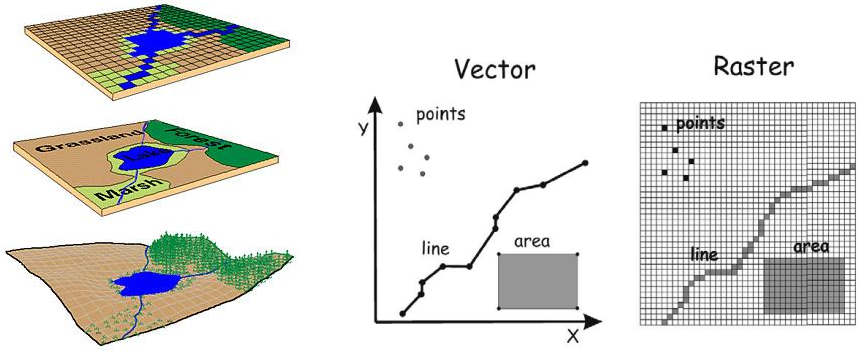

Figura 3.4 Modelli di dati vettoriali e raster (immagine adattata da [8]). [8]

Formati standardizzati dei file di dati GIS

Per archiviare e condividere dati geospaziali sono ampiamente utilizzati diversi formati di file standardizzati.

Tra i formati vettoriali più diffusi figurano Shapefile, GeoJSON, KML e OSM, oltre ad altri meno utilizzati. Questi formati sono supportati da molti software GIS e applicazioni cartografiche web e permettono di rappresentare elementi geografici e livelli tematici.

- **ESRI Shapefile: il formato Shapefile deriva da ArcGIS, il noto sistema GIS sviluppato da ESRI. È un formato vettoriale molto diffuso per memorizzare punti, linee e poligoni, ampiamente utilizzato nella cartografia GIS. È supportato dai principali sistemi commerciali e open source e si è affermato come standard di fatto. Uno shapefile comprende tre file obbligatori: SHP, che contiene le geometrie; SHX, che contiene l'indice delle geometrie; e DBF, che conserva i dati degli attributi.**
- **GeoJSON (Geographic JSON): formato leggero basato su testo per codificare strutture geografiche come punti, linee e poligoni mediante JavaScript Object**

Notation (JSON). GeoJSON è uno standard aperto sempre più diffuso, soprattutto nelle applicazioni di cartografia web. Le estensioni dei file sono .GEOJSON e .JSON.

- **KML (Google Keyhole Markup Language): formato GIS basato su XML, utilizzato principalmente per la visualizzazione in strumenti come Google Earth. Le estensioni sono .KML e .KMZ (KML compresso). KMZ è diventato il formato geospaziale predefinito di Google Earth perché rappresenta una versione compressa del file. Nel 2008 KML/KMZ è stato riconosciuto come standard internazionale dall'Open Geospatial Consortium [9].**[9]
- **OSM (OpenStreetMap): formato GIS basato su XML e nativo di OpenStreetMap [46], uno dei più grandi progetti collaborativi al mondo per la raccolta di dati GIS.**[42]

I dati raster, comprese le immagini satellitari e i dataset climatici, vengono spesso memorizzati in formato GeoTIFF, che conserva nello stesso file i valori dell'immagine e le informazioni di georeferenziazione. Altri formati raster comprendono ASCII Grid (.ASC) ed Esri Grid.

- **GeoTIFF: è diventato un formato standard molto utilizzato per le immagini GIS e le applicazioni di telerilevamento satellitare. Ai GeoTIFF possono essere associati altri file: TFW, un world file che fornisce informazioni di geolocalizzazione; XML, che può contenere metadati; AUX, con informazioni ausiliarie come le proiezioni; e OVR, contenente le piramidi per migliorare le prestazioni della visualizzazione raster.**
- **ASCII Grid: formato ASCII che memorizza e tratta dati mediante valori numerici, anche in virgola mobile. Contiene inoltre un'intestazione con parole chiave. Nella forma nativa, i dati GIS sono conservati in file di testo delimitati da virgole, spazi o tabulazioni. L'estensione è .ASC.**
- **Esri Grid: formato proprietario sviluppato da Esri. I file Grid non hanno un'estensione e possono contenere informazioni sugli attributi all'interno del raster; tuttavia gli attributi possono essere aggiunti soltanto alle griglie di interi. Sono memorizzati in una tabella degli attributi dei valori (VAT), che associa a ciascun valore distinto il numero di celle corrispondenti. I file Esri Grid possono rappresentare griglie di interi o a virgola mobile. La copertura del suolo è un esempio di griglia discreta, in cui ogni classe ha un valore intero; un modello altimetrico è invece un esempio di griglia a virgola mobile, in cui ogni cella rappresenta una quota.**

L’impiego di questi formati standardizzati garantisce interoperabilità tra strumenti GIS e favorisce analisi efficienti e condivisione dei dati ambientali tra istituzioni e discipline.

Panoramica tecnologica: strumenti GIS, modelli di dati spaziali e integrazione dei dati ambientali

Panoramica delle tecnologie GIS

I Sistemi Informativi Geografici (GIS) comprendono numerose tecnologie software per archiviare, gestire, analizzare e visualizzare dati spaziali. Nel tempo i GIS si sono evoluti da applicazioni desktop autonome a sistemi potenti basati su database e servizi cloud, capaci di gestire grandi quantità di dati geospaziali provenienti da fonti diverse. Tra le tecnologie più diffuse figurano Esri ArcGIS, Oracle Spatial, PostGIS e QGIS. Alcune estendono i database relazionali tradizionali con tipi di dati e funzioni di analisi spaziale, mentre altre offrono ambienti di elaborazione e visualizzazione GIS. Esistono numerose altre soluzioni open source e proprietarie, ciascuna con vantaggi e limiti.

Esri ArcGIS [10] è una piattaforma GIS commerciale di livello enterprise sviluppata da Esri, utilizzata per lavorare con dati geografici attraverso strumenti cartografici, di analisi e di visualizzazione. È molto diffusa e considerata uno standard di settore. Combina applicazioni desktop, servizi web e funzionalità cloud per gestire dati spaziali e creare mappe interattive e flussi di lavoro analitici. Supporta numerosi formati, sistemi di coordinate e funzioni avanzate di geoprocessing, risultando adatta a monitoraggio ambientale, pianificazione urbana e gestione delle infrastrutture. Flessibilità, scalabilità e integrazione con database e servizi online spiegano la sua ampia diffusione nel settore pubblico e privato.[10]

Oracle Spatial [20] è una soluzione commerciale di livello enterprise integrata nell'Oracle Database convergente. Supporta nativamente tipi di dati spaziali, indicizzazione spaziale, sistemi di riferimento delle coordinate e funzioni avanzate di analisi. È spesso utilizzata in grandi sistemi aziendali e pubblici in cui affidabilità, scalabilità e sicurezza sono fondamentali. Supporta interrogazioni spaziali complesse, analisi di reti e integrazione con altri sistemi informativi aziendali.[21]

PostGIS [16] è invece un'estensione spaziale open source del database PostgreSQL. È una delle tecnologie GIS più diffuse grazie alla flessibilità, alla vasta comunità di utenti e alla conformità agli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC). Permette di memorizzare oggetti spaziali, effettuare interrogazioni e svolgere operazioni avanzate attraverso SQL. Essendo open source, viene ampiamente impiegato nella ricerca, nella didattica, nel monitoraggio ambientale e nelle applicazioni GIS web.[16]

QGIS [15] è un'altra piattaforma GIS gratuita e open source che offre funzionalità professionali ad analisti, ricercatori e organizzazioni senza costi di licenza. Consente di creare, modificare, analizzare e visualizzare dati geospaziali. Supporta numerosi formati vettoriali e raster, sistemi di riferimento delle coordinate e strumenti di analisi spaziale tramite un'interfaccia grafica intuitiva. Può collegarsi direttamente a database spaziali come PostGIS ed è ampiamente utilizzato in didattica, ricerca, monitoraggio ambientale e cartografia per la sua flessibilità, i plugin e il supporto della comunità.[15]

Tutti questi strumenti mostrano come le moderne tecnologie GIS combinino gestione dei dati e funzionalità spaziali, consentendo archiviazione, interrogazione e analisi efficienti dei dati ambientali e geospaziali.

Introduzione all'utilizzo degli strumenti GIS

Gli strumenti GIS offrono generalmente sia interfacce grafiche (GUI) sia accesso programmatico ai dati spaziali. Applicazioni desktop come QGIS e ArcGIS sono spesso utilizzate come strumenti front-end, mentre database spaziali come PostGIS e Oracle Spatial fungono da sistemi back-end per l'archiviazione dei dati.

Un flusso di lavoro GIS di base (Figura 3.5) comprende di solito:Figura 3.5 Flusso di lavoro GIS di base (immagine generata da OpenAI ChatGPT il 4 febbraio 2026 a partire dal prompt «Basic GIS workflow (Workflow diagram: Import → CRS definition → Visualization → Spatial analysis → Output)»).

1. Importazione di dataset spaziali (per esempio mappe, immagini satellitari e posizioni dei sensori)
2. Definizione o verifica dei sistemi di riferimento delle coordinate
3. Visualizzazione dei livelli di dati
4. Esecuzione di interrogazioni e analisi spaziali
5. Esportazione dei risultati per la reportistica o per ulteriori elaborazioni

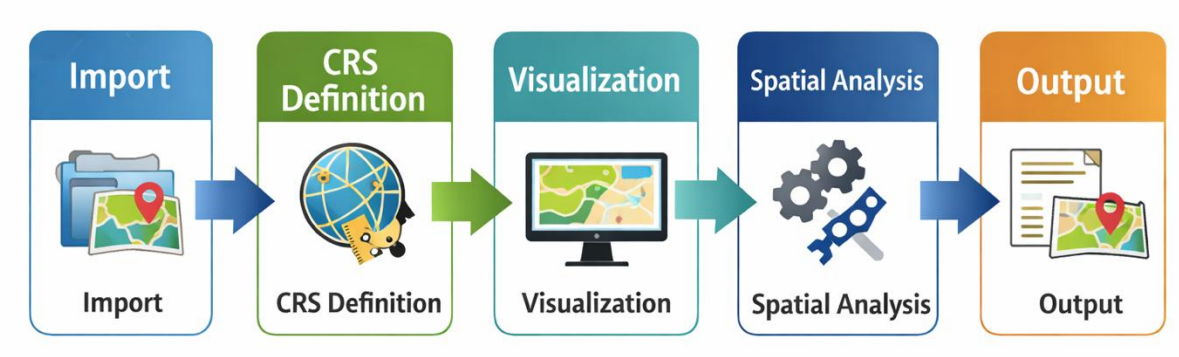

Figura 3.5 Flusso di lavoro GIS di base (immagine generata da OpenAI ChatGPT il 4 febbraio 2026 a partire dal prompt «Basic GIS workflow (Workflow diagram: Import → CRS definition → Visualization → Spatial analysis → Output)»).

Per esempio, uno studente che utilizza Oracle Spatial (Figura 3.6) potrebbe iniziare caricando in un database spaziale dataset vettoriali come reti fluviali o stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria. Con semplici interrogazioni SQL e funzioni spaziali può poi calcolare distanze, individuare intersezioni o stabilire quali elementi ricadono in una determinata area. Questo approccio basato sul database aiuta a comprendere come l'analisi spaziale possa essere integrata in applicazioni basate sui dati e in flussi di lavoro automatizzati.Figura 3.6 Pagina di un progetto attivo di Spatial Studio (adattata dalla guida Oracle Spatial Studio [23]).

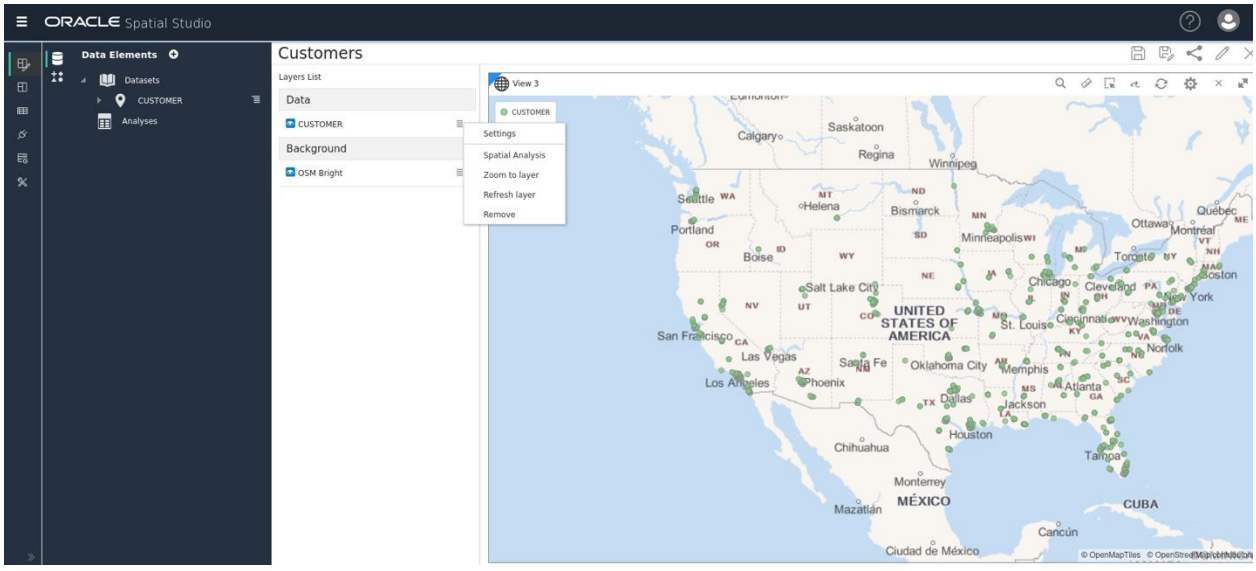

Figura 3.6 Pagina di un progetto attivo di Spatial Studio (adattata dalla guida Oracle Spatial Studio [23]). [23]

Importazione di dataset spaziali negli strumenti GIS

Poiché la tecnologia GIS si basa su modelli di dati spaziali che descrivono la rappresentazione digitale degli elementi del mondo reale, il primo passaggio fondamentale di qualsiasi flusso di lavoro GIS è importare i dataset spaziali. Prima di procedere alla visualizzazione, alle interrogazioni o alle analisi spaziali, i dati geografici devono essere caricati in un ambiente GIS in un formato riconoscibile e gestibile. Strumenti come QGIS, ArcGIS, PostGIS e Oracle Spatial supportano numerosi formati spaziali, consentendo di integrare in un unico progetto dati provenienti da fonti differenti.

Come già descritto, i dataset spaziali si suddividono generalmente in due categorie: dati vettoriali e raster, ciascuna con caratteristiche e applicazioni proprie. Gli strumenti GIS permettono di importarli tramite interfacce grafiche o connessioni ai database. Nelle applicazioni desktop, gli utenti possono aggiungere livelli da file locali, server remoti o archivi online. Per esempio, le immagini satellitari scaricate dai servizi NASA [33] o Copernicus [38] possono essere caricate come livelli raster, mentre i dati vettoriali relativi a reti fluviali o aree protette possono essere ottenuti da archivi pubblici come Natural Earth o OpenStreetMap [42]. Nei GIS basati su database, i dati possono essere importati in PostGIS o Oracle Spatial, entrando a far parte di un database spaziale centralizzato che consente interrogazioni e gestione efficienti.[33][38][42]

Durante l'importazione è importante verificare che ogni dataset includa informazioni sul sistema di riferimento spaziale, che determina la posizione dei dati sulla superficie terrestre. La maggior parte degli strumenti GIS rileva automaticamente il sistema di riferimento delle coordinate (CRS), ma occorre controllarne la correttezza prima di procedere. Se il CRS manca oppure è definito in modo errato, il dataset potrebbe non allinearsi agli altri livelli del progetto.

Un altro aspetto importante dell'importazione riguarda gli attributi. Oltre alla geometria, i dataset spaziali contengono informazioni descrittive, come misurazioni dell'inquinamento, nomi di località, date di osservazione e categorie di classificazione. Gli strumenti GIS conservano tali attributi e consentono di visualizzarli, modificarli e utilizzarli nelle analisi successive. Il collegamento tra elementi spaziali e relativi attributi è uno degli aspetti che rendono i GIS particolarmente utili per l'analisi ambientale e geografica.

Le moderne applicazioni GIS ambientali si basano sempre più spesso su dati provenienti da fonti eterogenee: sensori sul campo (per esempio stazioni di monitoraggio dell'aria o dell'acqua), piattaforme satellitari, enti pubblici, archivi open data (per esempio di copertura del suolo o dati climatici) e dispositivi Internet of Things (IoT) che generano dati spaziali in tempo reale. Importando questi dataset in un progetto GIS, è possibile combinarli per analisi ambientali più ricche e complete. Un utente potrebbe, per esempio, importare un'immagine satellitare come livello raster,

le posizioni delle stazioni di monitoraggio come punti e i confini amministrativi come poligoni. I livelli possono poi essere visualizzati simultaneamente e costituire la base di ulteriori analisi spaziali. I database GIS forniscono una piattaforma centrale per collegare dati spaziali e non spaziali tramite posizione e tempo.

L'importazione corretta dei dataset spaziali è dunque una fase determinante per la riuscita dell'intero flusso di lavoro GIS. Verificando che i dati siano caricati correttamente, georeferenziati in modo appropriato e accompagnati da attributi accurati, si costruisce una base solida per la visualizzazione, l'analisi e il processo decisionale.

Definire o verificare i sistemi di riferimento delle coordinate

Un sistema di riferimento delle coordinate (CRS) definisce come sono posizionati i dati spaziali sulla superficie terrestre. Poiché la Terra è un corpo tridimensionale e curvo, rappresentare posizioni su una mappa bidimensionale richiede trasformazioni matematiche dette proiezioni.

Dataset diversi possono utilizzare sistemi di coordinate differenti (Figura 3.7), tra cui:Figura 3.7 Confronto fra sistemi di coordinate geografiche e proiettate (immagine generata da OpenAI ChatGPT il 4 febbraio 2026 a partire dal prompt «Comparison of geographic v.s. projected coordinate systems in GIS»).

- Sistemi di coordinate geografiche (latitudine e longitudine), come World Geodetic System 1984 (WGS84)
- Sistemi di coordinate proiettate (per esempio UTM e sistemi cartografici nazionali)

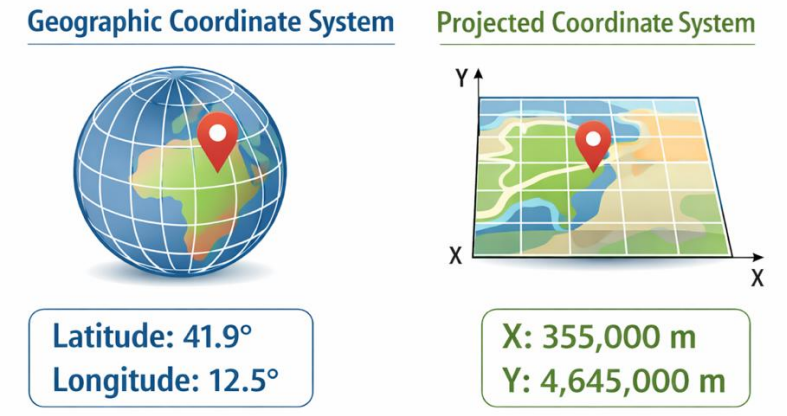

Figura 3.7 Confronto fra sistemi di coordinate geografiche e proiettate (immagine generata da OpenAI ChatGPT il 4 febbraio 2026 a partire dal prompt «Comparison of geographic v.s. projected coordinate systems in GIS»).

Nei GIS è fondamentale assicurare che tutti i dataset utilizzino sistemi di riferimento compatibili. Se si combinano dati con CRS diversi senza una trasformazione appropriata, le analisi spaziali possono produrre risultati imprecisi o fuorvianti. Gli strumenti GIS dispongono di funzioni di riproiezione che convertono i dati da un CRS a un altro, consentendo analisi coerenti su più dataset.

Nel normale flusso di lavoro GIS è consigliabile definire anzitutto il CRS del progetto, per consentire l'allineamento automatico dei livelli. Occorre poi verificare il CRS di ogni dataset nelle proprietà del livello o controllando i codici EPSG mostrati nella barra di stato (per esempio EPSG:4326 per le coordinate geografiche WGS84). CRS non coerenti possono provocare errori di sovrapposizione. In questo caso è necessario riproiettare i livelli, usando strumenti come «Riproietta livello». È inoltre utile controllare visivamente le sovrapposizioni: eventuali distorsioni possono indicare problemi. Questi passaggi contribuiscono a garantire l'accuratezza spaziale dei progetti GIS.

Sfide dell'integrazione dei dati e qualità dei dati spaziali

Nonostante i vantaggi, l'integrazione di dati spaziali provenienti da più fonti presenta diverse difficoltà. Un problema frequente è la **mancata corrispondenza delle coordinate** quando i dataset utilizzano sistemi di riferimento o proiezioni differenti. Senza un'adeguata riproiezione, i livelli potrebbero non allinearsi correttamente sulla mappa.

Un'altra sfida è la **risoluzione temporale**. I dati ambientali possono essere raccolti a intervalli differenti, per esempio misurazioni orarie dei sensori e mappe annuali della copertura del suolo. La loro integrazione richiede attenzione alle scale temporali e ai metodi di sincronizzazione.

Anche le **incoerenze nei metadati** costituiscono un problema. I metadati descrivono come i dati sono stati raccolti, elaborati e strutturati. Metadati incompleti o incoerenti possono ostacolare la valutazione della qualità, dell'accuratezza e dell'idoneità dei dati a una specifica analisi. Nei GIS è quindi essenziale comprenderli e gestirli per ottenere risultati affidabili.

La **qualità dei dati spaziali** è un altro aspetto centrale delle analisi GIS. Le principali dimensioni della qualità comprendono accuratezza posizionale, accuratezza degli attributi, accuratezza temporale, completezza e coerenza. Eventuali errori possono determinare conclusioni sbagliate, soprattutto nelle decisioni ambientali. Posizioni errate dei sensori, per esempio, possono distorcere le mappe dell'inquinamento, mentre dati obsoleti sull'uso del suolo possono rappresentare in modo inesatto le condizioni attuali. Le tecnologie GIS offrono strumenti per validare la qualità, controllare l'integrità delle geometrie e documentare l'incertezza. Comprendere i limiti dei dati è essenziale per un uso responsabile dei GIS nelle applicazioni ambientali.

Interrogazioni, operazioni e analisi spaziali

Oltre alle geometrie, i sistemi GIS gestiscono relazioni topologiche (Figura 3.8), che descrivono come gli elementi spaziali si rapportano fra loro. La topologia si concentra su relazioni come adiacenza, connettività, contenimento e sovrapposizione, anziché sulla forma o sulle dimensioni esatte.Figura 3.8 Relazioni topologiche comuni (immagine adattata da [34]).1

Tra le relazioni topologiche più comuni figurano:

- **Intersezione (Intersects):** due elementi condividono una parte dello spazio
- **Contenimento (Contains / Within):** un elemento si trova interamente all'interno di un altro
- **Contatto (Touches):** gli elementi condividono un confine senza sovrapporsi internamente
- **Sovrapposizione (Overlaps):** gli elementi condividono parte della propria area

La topologia è particolarmente importante nell'analisi ambientale. Determinare, per esempio, quali fonti di inquinamento ricadono in un bacino idrografico, quali particelle intersecano habitat protetti o quali strade attraversano zone a rischio di alluvione richiede relazioni topologiche. Database spaziali come PostGIS e Oracle Spatial includono funzioni per valutarle in modo efficiente e accurato.

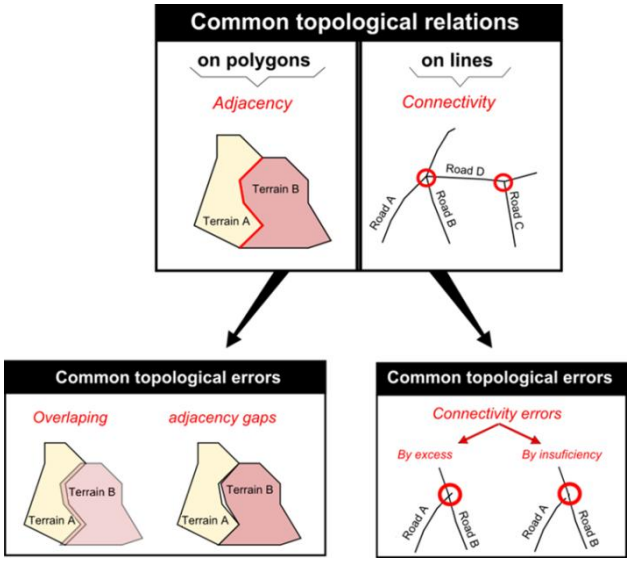

Figura 3.8 Relazioni topologiche comuni (immagine adattata da [34]).1[31]

Le tecnologie GIS supportano numerose **operazioni spaziali** per condurre analisi avanzate.

Le **join spaziali** consentono di trasferire gli attributi da un dataset a un altro in base a relazioni spaziali (Figura 3.9), per esempio associando misure di inquinamento a regioni amministrative.Figura 3.9 Esempio di join spaziale (immagine adattata da [35]).

Le **operazioni di sovrapposizione** (overlay) combinano più livelli spaziali per produrre nuovi dataset, per esempio intersecando mappe dell'uso del suolo e zone a rischio di alluvione per individuare aree vulnerabili. Sono operazioni fondamentali per la pianificazione ambientale e la valutazione dei rischi.

La **riproiezione** trasforma i dataset in un sistema di riferimento delle coordinate comune, garantendo coerenza spaziale. Queste operazioni costituiscono il nucleo analitico dei GIS e sono supportate da database spaziali come PostGIS e Oracle Spatial.



Figura 3.9 Esempio di join spaziale (immagine adattata da [35]). [32]

Tendenze attuali dell'IA e del machine learning nell'analisi geospaziale

L'intelligenza artificiale (IA) e il machine learning (ML) stanno trasformando l'analisi geospaziale grazie all'elaborazione automatizzata, scalabile e intelligente dei dati spaziali. Questo ambito interdisciplinare, spesso chiamato intelligenza artificiale geospaziale (GeoAI), evolve rapidamente e modifica il modo in cui le informazioni spaziali vengono raccolte, interpretate e utilizzate.

Automazione ed estrazione delle caratteristiche

I modelli di IA e ML, soprattutto quelli basati sul deep learning, sono ampiamente utilizzati per automatizzare attività geospaziali complesse, come la classificazione delle immagini, l'estrazione delle caratteristiche e il rilevamento dei cambiamenti nelle immagini satellitari e aeree. Operazioni che prima richiedevano un'interpretazione manuale approfondita possono ora essere svolte rapidamente e con buona accuratezza, migliorando il monitoraggio ambientale, la pianificazione urbana e la mappatura delle infrastrutture.

Elaborazione in tempo reale e quasi in tempo reale

Grazie all'aumento della potenza di calcolo, all'edge computing e all'ottimizzazione degli algoritmi di ML, i sistemi GeoAI si stanno orientando verso l'analisi dei dati spaziali in tempo reale. Ciò consente di riconoscere rapidamente situazioni rilevanti nella risposta alle emergenze, nella gestione del traffico e nel monitoraggio dei cambiamenti ambientali, in contesti nei quali i ritardi possono compromettere le decisioni.

Integrazione di dati ad alta risoluzione

Il crescente impiego di sensori ad alta risoluzione, come LiDAR, radar ad apertura sintetica (SAR) e satelliti multispettrali o iperspettrali, produce dati spaziali multidimensionali e ricchi di informazioni [20]. Le tecniche di IA e ML, incluse reti neurali e fusione dei dati, sono essenziali per elaborare e integrare questi dataset in rappresentazioni coerenti per analisi urbane, ecologiche e agricole.

[20]

Modellazione predittiva e simulazione

I modelli di ML sono ampiamente utilizzati per la modellazione spaziale predittiva [17], per esempio per prevedere cambiamenti nell'uso del suolo, impatti climatici e dinamiche demografiche. Combinando caratteristiche geospaziali e variabili ambientali e socioeconomiche, consentono di simulare scenari futuri per la pianificazione e le politiche pubbliche.

[17]

Interfacce GIS intelligenti e interazione in linguaggio naturale

La ricerca recente esplora l'integrazione dell'IA generativa e dei grandi modelli linguistici (LLM) con i GIS, al fine di creare agenti GIS autonomi. Questi sistemi permettono di eseguire analisi spaziali in linguaggio naturale, facilitando l'accesso agli utenti non esperti e accelerando i flussi di lavoro analitici.

Coerenza con la sostenibilità e gli obiettivi di sviluppo sostenibile

La GeoAI ha un ruolo crescente nel monitoraggio delle sfide ambientali e nella risposta a esse, in linea con gli Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDG) delle Nazioni Unite. IA e ML contribuiscono a una mappatura più precisa della copertura del suolo, alla valutazione dei rischi naturali, al

monitoraggio climatico e alla gestione delle risorse, favorendo strategie fondate sui dati per la resilienza e la sostenibilità.

IA etica, spiegabile e inclusiva

Con la crescente diffusione dell'IA aumenta la richiesta di spiegabilità, trasparenza e uso etico dei modelli di ML nelle decisioni spaziali. Ciò comprende il rispetto dell'equità, la riduzione delle distorsioni nei dataset spaziali e l'accessibilità degli strumenti di IA a una platea più ampia, dai ricercatori ai pianificatori delle comunità locali.

Esempio pratico con Oracle Spatial: importazione e visualizzazione di dati geospaziali

Come illustrato in precedenza, i dati geospaziali sono fondamentali nelle moderne applicazioni basate sui dati, dai servizi di localizzazione al monitoraggio ambientale e alla pianificazione urbana. Oracle Spatial [21] offre un ambiente completo per archiviare, gestire, analizzare e visualizzare dati geospaziali nell'ecosistema Oracle Database. Estendendo un database relazionale tradizionale con funzionalità spaziali, permette a sviluppatori, specialisti GIS e analisti di gestire dataset complessi, eseguire interrogazioni spaziali, produrre rappresentazioni visive e integrare le informazioni geografiche nelle applicazioni.[21]

Oracle Spatial può essere distribuito nel cloud Oracle oppure installato localmente su un computer. Una configurazione locale è spesso preferibile perché garantisce il controllo completo dell'ambiente, consente di sperimentare con diversi dataset e permette di esplorare le funzionalità spaziali senza dipendere da server esterni o dalla connettività di rete. In questo capitolo ci concentriamo sull'installazione locale di Oracle Spatial Studio [22], un'applicazione basata su Java per visualizzare, gestire e analizzare dati spaziali contenuti in Oracle Database.[22]

I dati importati in Oracle Spatial provengono solitamente da fonti pubbliche, dataset aperti o raccolte proprietarie. Per questo esempio sono stati scelti due dataset: (1) i percorsi storici dei tornado negli Stati Uniti dal 1950 al 2024, forniti dalla National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [24], e (2) un dataset delle città statunitensi con informazioni demografiche e geografiche tratto da data.gov [26]. Come esercizi alternativi, NOAA fornisce anche dati sui percorsi di grandinate e forti venti per periodi analoghi [25]. I dataset consentono di illustrare visualizzazione, analisi di prossimità e individuazione di schemi temporali. I percorsi dei tornado sono rappresentati da polilinee, mentre le città sono punti con attributi quali popolazione, Stato e coordinate geografiche. La combinazione di punti e linee permette di studiare l'interazione fra dataset spaziali e le loro relazioni.[24][26][25]

L'importazione in Oracle Spatial Studio richiede di specificare esplicitamente le colonne di latitudine e longitudine, utilizzate per creare le geometrie puntuali e posizionarle nel sistema di riferimento delle coordinate. La corretta associazione delle colonne è necessaria per visualizzazioni geograficamente accurate. Spatial Studio supporta diversi CRS e identificatori di riferimento spaziale (SRID), che definiscono la proiezione dei dati su una mappa bidimensionale. Per i dataset globali si utilizza spesso WGS84, che permette visualizzazioni e confronti coerenti. Specificare erroneamente SRID o coordinate può causare disallineamenti, errori nelle distanze e analisi non valide.

L’ambito temporale dell’analisi dipende dalla disponibilità dei dati storici sui tornado, dal 1950 al 2024. Questa lunga serie temporale consente di individuare tendenze nella frequenza, nella distribuzione geografica e nel verificarsi di eventi meteorologici estremi. Gli attributi temporali consentono di andare oltre una mappa statica, studiando i cambiamenti nei percorsi dei tornado nei decenni, la frequenza degli eventi che interessano determinate città e le possibili correlazioni con fattori ambientali o socioeconomici.

Dopo l’importazione, la creazione di un progetto in Spatial Studio mette a disposizione un ambiente organizzato per visualizzazione e analisi. I progetti sono spazi di lavoro interattivi in cui i dataset possono essere sovrapposti, manipolati e interrogati. È possibile effettuare operazioni spaziali come creazione di buffer, intersezioni, ricerca dei vicini più prossimi e clustering, oppure esplorare i dati tramite livelli cartografici, colori e filtri sugli attributi. Queste funzioni aiutano a comprendere relazioni e distribuzioni geospaziali, supportando ricerca e decisioni operative.

Spatial Studio include inoltre un sistema di monitoraggio dei job per gestire operazioni lunghe, come importazione dei dati, interrogazioni spaziali complesse ed elaborazioni batch. I job riportano in tempo reale lo stato di esecuzione, permettendo di seguire i progressi, individuare errori e ottimizzare le prestazioni. Sono particolarmente utili con dataset estesi su vari decenni o migliaia di record e aiutano a mantenere le analisi reattive e riproducibili.

L’integrazione con Oracle Database garantisce infine che tutti i dati importati ed elaborati siano conservati in formato relazionale e interrogabile. Le tabelle create mantengono metadati quali timestamp, SRID, tipi geometrici e attributi associati. Questa struttura facilita le analisi successive mediante SQL, funzioni spaziali e strumenti di machine learning integrati nel database, collegando i dati geospaziali grezzi alle analisi avanzate.

In sintesi, l’esempio pratico prevede la scelta dei dataset, l’indicazione delle colonne delle coordinate, l’assegnazione dei sistemi di riferimento, la creazione di un progetto e l’esecuzione di operazioni di visualizzazione e analisi. Il procedimento mostra come Oracle Spatial Studio possa combinare dati geografici eterogenei per ottenere informazioni utili in modo strutturato e riproducibile.

Primi passi (prerequisiti)

Per seguire il tutorial e svolgere gli esercizi, è necessario installare sul computer i seguenti software:

1. **Oracle Database Express Edition (XE):** una versione **gratuita e leggera** di Oracle Database, adatta allo sviluppo locale. Supporta le principali funzioni di database e consente di creare gli schemi spaziali necessari per Oracle Spatial.LINK for download
2. **Oracle SQL Developer:** un **client desktop** con **interfaccia grafica** per connettersi ai database Oracle, eseguire comandi SQL, gestire gli schemi ed esaminare i dati. Oracle offre anche un'estensione di SQL Developer per VS Code, che può costituire un'alternativa**.**LINK for download
3. **Oracle Spatial Studio:** un'applicazione dedicata ai dati spaziali in Oracle Database. Offre un ambiente grafico per importare dataset, creare progetti, eseguire analisi spaziali e visualizzare i risultati sulle mappe**.**LINK for download

Questi componenti formano insieme un ecosistema completo in cui i dati geospaziali possono essere importati, modificati, analizzati e visualizzati in modo strutturato e interattivo.

Conoscere l'ambiente Spatial Studio

Oracle Spatial Studio organizza il flusso di lavoro intorno ad alcuni concetti fondamentali da conoscere prima degli esempi pratici:

- **Connessioni (Connections):** collegamenti a specifiche istanze di Oracle Database. Ogni connessione comprende credenziali di autenticazione, informazioni sull'host e accesso agli schemi. È il primo passo per accedere ai dati.
- **Dataset:** riferimenti a fonti di dati archiviate localmente o nel database connesso. Possono contenere punti, linee, poligoni e altri oggetti spaziali e costituiscono l'input principale per visualizzazioni e analisi.
- **Progetti (Projects):** spazi di lavoro di Spatial Studio in cui trascinare i dataset, visualizzare i dati sulle mappe e configurare le analisi. Permettono di organizzare l'esplorazione dei dati geospaziali.
- **Job:** processi in background che eseguono attività come importazioni, analisi o trasformazioni. Forniscono informazioni in tempo reale sullo stato di avanzamento e permettono l'esecuzione asincrona di operazioni che possono richiedere tempo.

Comprendere questi componenti è essenziale: costituiscono la struttura portante del flusso di lavoro di Spatial Studio e determinano come gli utenti interagiscono con i dati spaziali.

Esempio pratico: importare e visualizzare i percorsi dei tornado

Per illustrare le funzionalità di Oracle Spatial utilizzeremo, come anticipato, due dataset: i percorsi storici dei tornado negli Stati Uniti dal 1950 al 2024 e un elenco delle città statunitensi. L'obiettivo è visualizzare questi dati e analizzare le relazioni geografiche tra percorsi degli eventi e località.

In un nuovo progetto, aprire il pannello «Datasets» in Spatial Studio e selezionare «Create Dataset», come mostrato nella Figura 3.10. Scegliere quindi il formato appropriato (CSV, GeoJSON o shapefile), come nella Figura 3.11, e seguire le istruzioni per caricare il file. Quando si importano punti, indicare le colonne della latitudine e della longitudine, come mostrato nella Figura 3.12, e verificare il sistema di riferimento delle coordinate.

Figura 3.10 Creazione di un nuovo dataset a partire da una tabella o da un dataset esistente in Oracle Spatial Studio.Figura 3.11 Caricamento di un dataset locale nel progetto.Figura 3.12 Indicazione di latitudine e longitudine per creare punti sulla mappa mondiale.

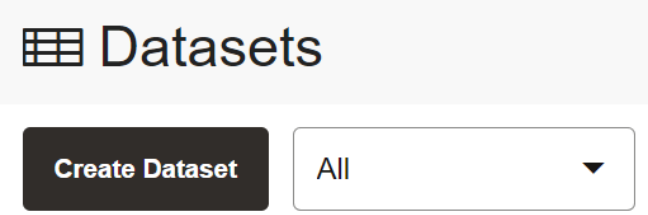

Figura 3.10 Creazione di un nuovo dataset a partire da una tabella o da un dataset esistente in Oracle Spatial Studio.

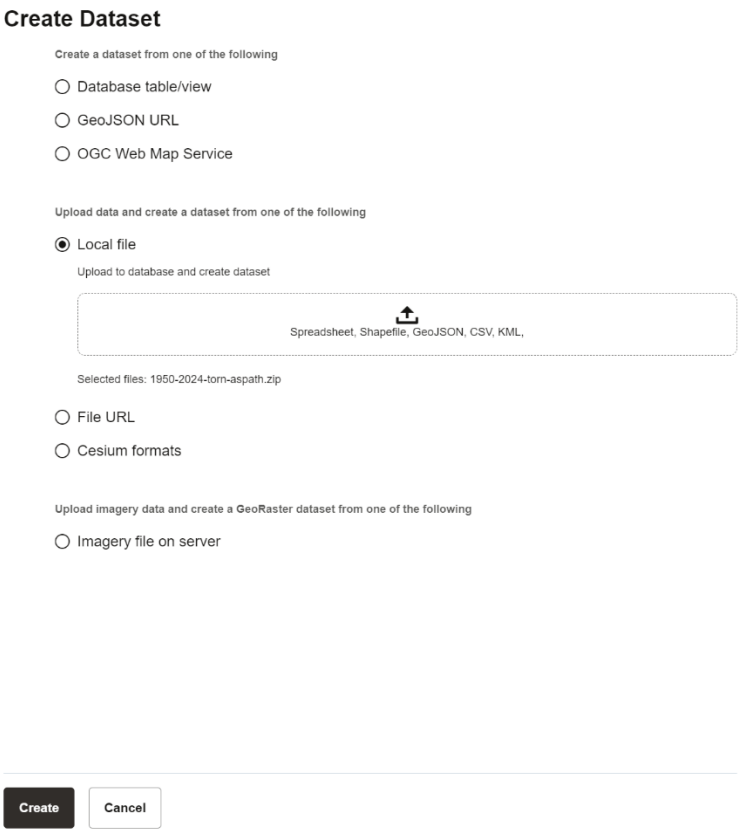

Figura 3.11 Caricamento di un dataset locale nel progetto.

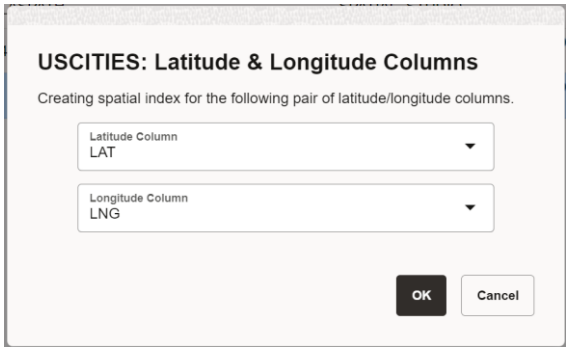

Figura 3.12 Indicazione di latitudine e longitudine per creare punti sulla mappa mondiale.

Dopo l'importazione, creare un nuovo progetto e aggiungervi entrambi i dataset. I dati possono quindi essere trascinati sulla mappa per ottenere una rappresentazione visiva. I percorsi dei tornado appariranno come linee o polilinee, mentre le città verranno rappresentate come punti. Le opzioni di stile permettono di distinguere i livelli attraverso colori, simboli e dimensioni.Figura 3.13 Dati visualizzati su una mappa in Oracle Spatial Studio.

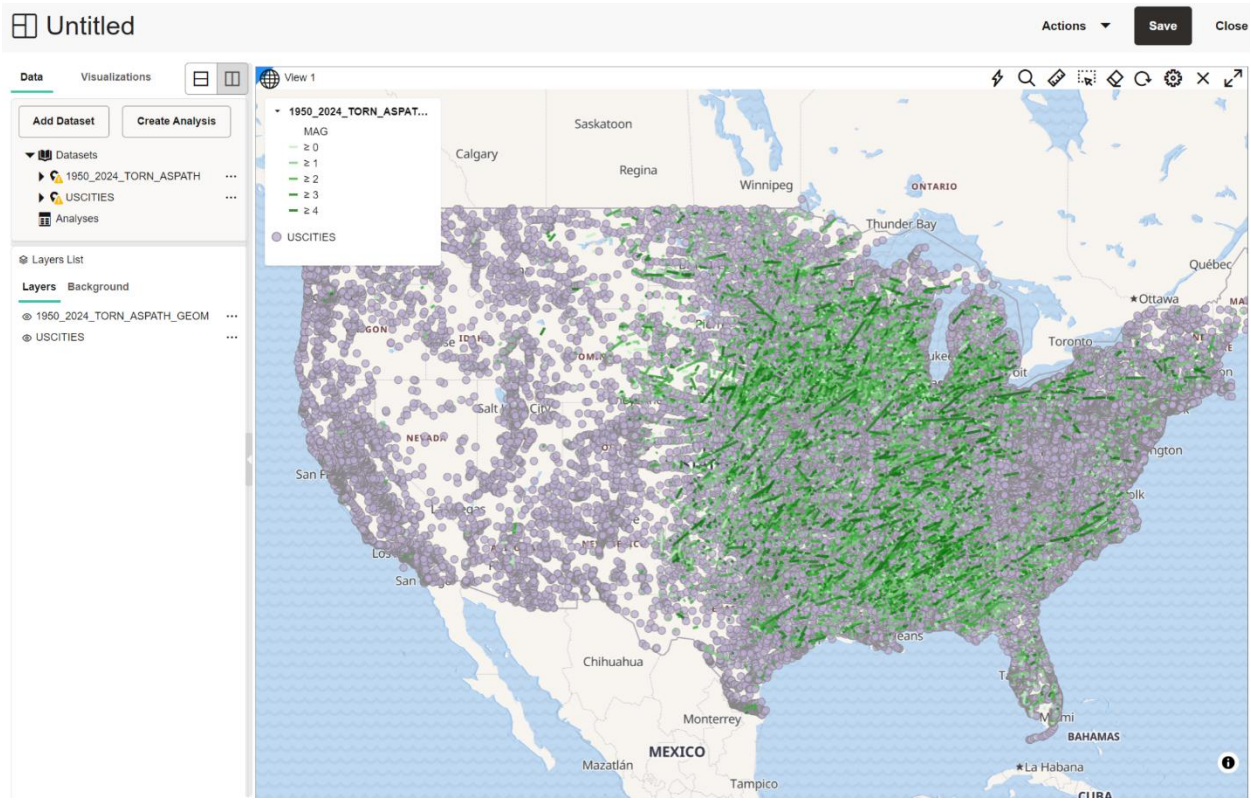

Figura 3.13 Dati visualizzati su una mappa in Oracle Spatial Studio.

Oracle Spatial Studio mette a disposizione diversi strumenti di analisi spaziale. Si possono, per esempio, calcolare le distanze tra città e percorsi dei tornado per individuare le aree urbane storicamente interessate da fenomeni meteorologici estremi. Le analisi possono essere eseguite mediante interfaccia grafica, combinando dati e operazioni geografiche.

Operazioni di analisi spaziale

Oracle Spatial offre un insieme completo di operazioni e strumenti di analisi spaziale che estendono le interrogazioni SQL tradizionali con funzionalità geografiche. Queste operazioni consentono di analizzare non soltanto gli attributi, ma anche le relazioni tra oggetti nello spazio, come distanza, intersezione, prossimità e contenimento.

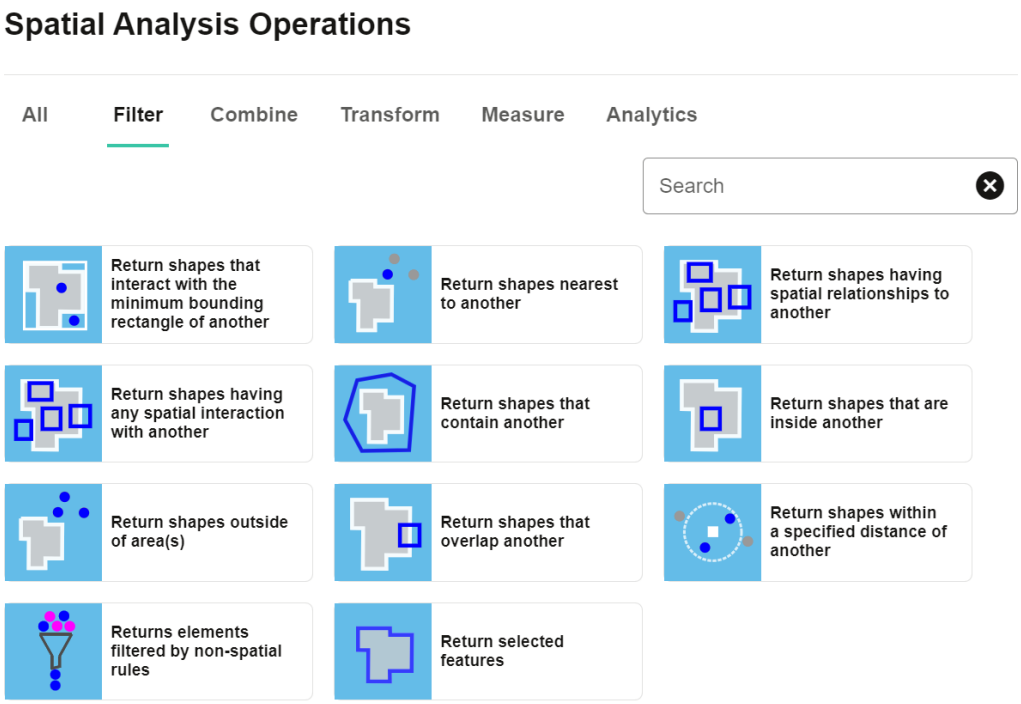

Figura 3.14 Strumenti per le operazioni di analisi spaziale.

Oltre ai predicati spaziali di base, Oracle Spatial supporta operazioni avanzate che consentono analisi geografiche complesse. I buffer permettono di creare zone intorno agli oggetti spaziali, utili per studiare le aree di influenza; le intersezioni e le operazioni di prossimità consentono di individuare oggetti in relazione a specifiche aree o distanze.Figura 3.14 Strumenti per le operazioni di analisi spaziale.

Dopo aver eseguito un'analisi, i risultati possono essere salvati nel database come nuovi dataset, esportati in file esterni per i report oppure visualizzati direttamente nel progetto. Spatial Studio supporta più livelli e diverse opzioni di rappresentazione per confrontare i risultati.

Un esempio è l'analisi di prossimità, che valuta le distanze tra oggetti spaziali. Oracle Spatial mette a disposizione predicati basati sulla distanza per individuare, per esempio, le città situate entro un certo raggio da un percorso di tempesta. La seguente interrogazione SQL seleziona le città entro 50 chilometri dai percorsi:

```
SELECT c.city_name
FROM cities c, storm_paths s
WHERE SDO_WITHIN_DISTANCE(
        c.geom,
        s.geom,
        'distance=50 unit=km'
      ) = 'TRUE';
```

Oltre alla prossimità, le relazioni topologiche svolgono un ruolo essenziale. Oracle Spatial supporta predicati come intersezione, contenimento e inclusione, che descrivono le relazioni tra geometrie. L'esempio SQL seguente individua le regioni che interagiscono spazialmente con i percorsi delle tempeste:

```
SELECT r.region_name
FROM regions r, storm_paths s
WHERE SDO_RELATE(
        r.geom,
        s.geom,
        'mask=ANYINTERACT'
      ) = 'TRUE';
```

Un'altra classe importante di operazioni riguarda i buffer, che creano geometrie rappresentanti zone intorno agli oggetti spaziali. I buffer sono spesso utilizzati per modellare aree di influenza o impatto, per esempio un'area interessata da un evento meteorologico. L'interrogazione seguente crea un buffer intorno ai percorsi:

```
SELECT SDO_GEOM.SDO_BUFFER(
         s.geom,
         25,
         0.005
       ) AS buffer_geom
FROM storm_paths s;
```

Oracle Spatial supporta inoltre misure spaziali e operazioni geometriche, tra cui il calcolo di distanze, aree e intersezioni. Queste funzioni consentono analisi quantitative, per esempio per misurare la distanza tra una città e il percorso di una tempesta. L'esempio seguente calcola una distanza utilizzando le geometrie memorizzate nel database:

```
SELECT SDO_GEOM.SDO_DISTANCE(
         c.geom,
         s.geom,
         0.005
       ) AS distance_in_units
FROM cities c, storm_paths s
WHERE c.city_name = 'Tucson';
```

Nel loro insieme, queste operazioni costituiscono la base analitica di Oracle Spatial. Combinando predicati spaziali, calcoli di distanza e trasformazioni delle geometrie è possibile andare oltre la semplice visualizzazione cartografica ed eseguire analisi geospaziali complesse.

Analisi spaziale: città entro 100 km dal percorso di una tempesta

Sebbene le operazioni spaziali di Oracle Spatial possano essere espresse tramite funzioni SQL, per la maggior parte dei flussi di lavoro non è necessario scrivere manualmente le interrogazioni. Oracle Spatial Studio offre un'interfaccia grafica con cui selezionare operazioni spaziali e impostarne i parametri, generando automaticamente il SQL corrispondente.

Nell'esempio seguente analizzeremo un percorso di tempesta rispetto alle città situate entro 100 chilometri. Per farlo creiamo una nuova analisi spaziale aprendo il menu delle azioni del livello dei dati e selezionando l'opzione per l'analisi, come mostrato nella figura corrispondente.Figura 3.15 Menu delle azioni di un livello di dati.

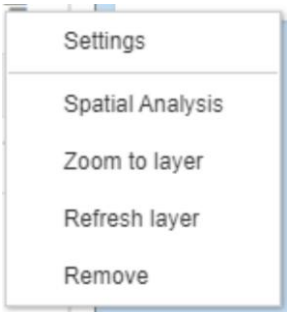

Figura 3.15 Menu delle azioni di un livello di dati.

Si apre così la finestra delle operazioni di analisi spaziale, che offre diverse possibilità di analisi guidata. Cerchiamo l'operazione «Return shapes within a specified distance of another», illustrata nella Figura 3.16.Figura 3.16 Operazione spaziale richiesta.

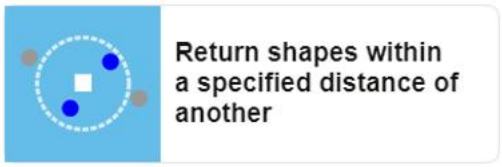

Figura 3.16 Operazione spaziale richiesta.

L'operazione «entro una certa distanza» è un'analisi di prossimità molto utilizzata nei GIS: seleziona elementi geografici in base alla distanza reciproca, senza richiedere un'intersezione geometrica diretta. A differenza delle interrogazioni di intersezione, permette di individuare oggetti come città o infrastrutture prossimi a un percorso. Specificando una soglia di distanza, la prossimità geografica diventa un criterio misurabile e riproducibile.

Una volta attivata, si apre una finestra in cui indicare il livello da usare come filtro, cioè il percorso della tempesta, oltre alla distanza e all'unità di misura: nel nostro caso 100 chilometri (Figura 3.17). Dopo aver eseguito l'analisi, il risultato appare nel pannello di sinistra, sotto «Analysis», e può essere trascinato sulla mappa. Come per gli altri livelli, è possibile scegliere colori, forme e dimensioni per distinguere la sovrapposizione ai dataset già presenti (Figura 3.18). Le impostazioni dell'analisi possono essere modificate dal menu delle azioni, nella sezione dei parametri. Per esempio, passando da 100 a 200 chilometri e rieseguendo l'analisi, compariranno altre città vicine al tornado.Figura 3.17 Impostazione del livello, della distanza e dell'unità di misura per il filtro.Figura 3.18 Mappa finale ottenuta con l'analisi spaziale.

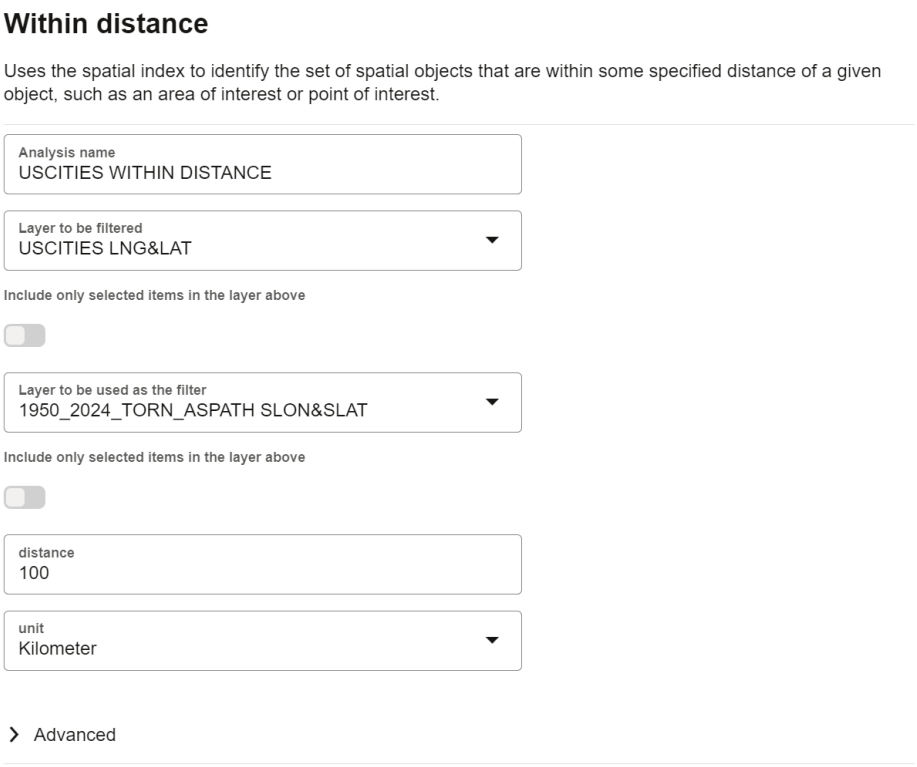

Figura 3.17 Impostazione del livello, della distanza e dell'unità di misura per il filtro.

Un vantaggio importante è la natura interattiva ed esplorativa di questo approccio. Modificando la distanza e ripetendo l'analisi si osserva immediatamente come cambia l'insieme delle città potenzialmente interessate al variare dell'area di influenza. È così possibile confrontare scenari con ipotesi diverse senza modificare i dataset di partenza. Questa esplorazione iterativa è un punto di forza degli strumenti GIS grafici: aiuta a comprendere la sensibilità spaziale e l'effetto della scala mantenendo il rigore analitico.

Sebbene l'analisi non richieda di scrivere codice, è comunque possibile aprire le proprietà e consultare la query SQL generata automaticamente da Spatial Studio mediante gli operatori spaziali per la ricerca di oggetti nelle vicinanze.

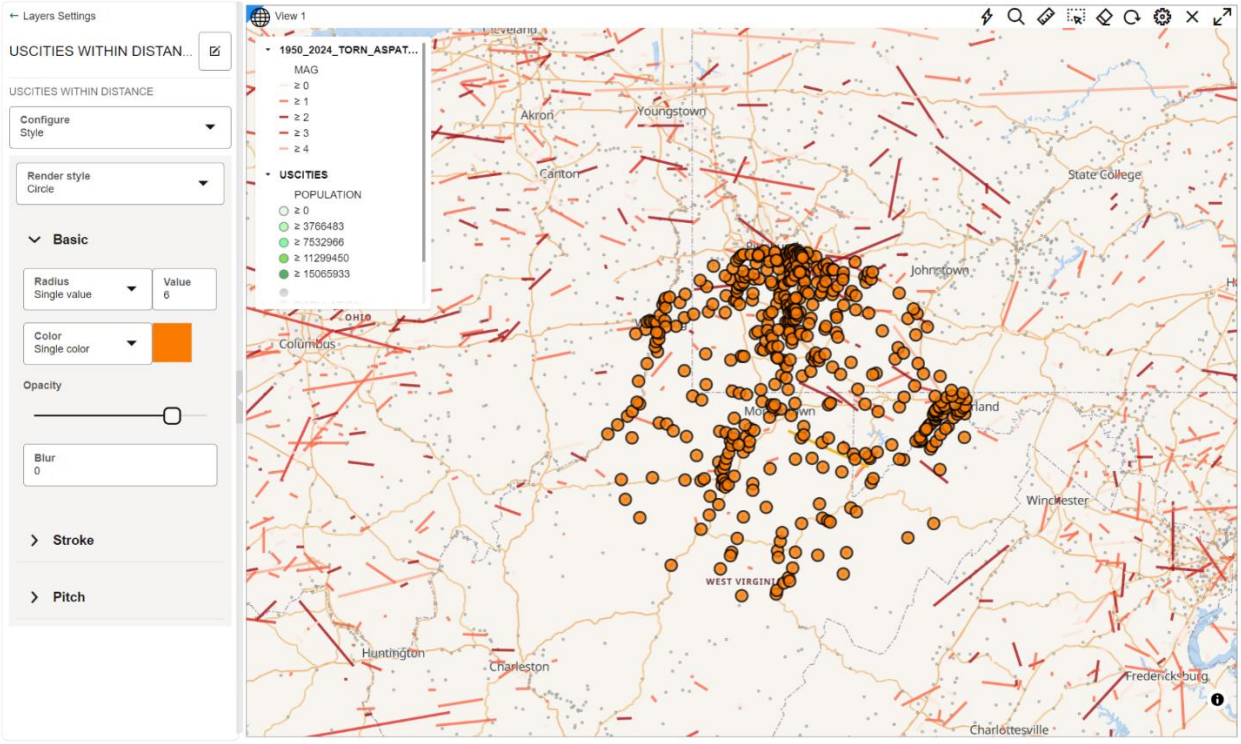

Figura 3.18 Mappa finale ottenuta con l'analisi spaziale.

Sebbene l'esempio riguardi un unico percorso e una soglia di distanza fissa, la stessa operazione può essere applicata a numerosi scenari. Le interrogazioni di prossimità sono usate nella pianificazione urbana, nella valutazione dei rischi ambientali, nell'analisi delle infrastrutture e nella gestione delle emergenze per individuare aree potenzialmente esposte. Unendo visualizzazione interattiva e calcolo spaziale nel database, Oracle Spatial Studio consente analisi solide senza scrivere manualmente SQL, pur mantenendo trasparenza grazie all'accesso alle interrogazioni generate automaticamente. L'operazione «entro una certa distanza» è quindi una componente fondamentale dei flussi di analisi GIS e dei sistemi di supporto alle decisioni spaziali.

Attività pratiche

- Scaricare dataset geospaziali relativi a percorsi di tempeste e città in un Paese o in una regione, per esempio in Europa (dataset Eurostat [45], Natural Earth [46], fonti derivate da

OpenStreetMap [47], tracce di tempeste o eventi estremi EUMETSAT [48], rianalisi ECMWF [49] o archivi meteorologici paneuropei).[40][41][42][43][44]

- Importare i dataset scaricati in Oracle Spatial Studio usando formati supportati come CSV o GeoJSON.
- Definire attributi spaziali e sistemi di coordinate, associando esplicitamente latitudine e longitudine e assegnando un sistema di riferimento appropriato.
- Visualizzare i dataset in un progetto sovrapponendo diversi livelli (per esempio percorsi delle tempeste e posizioni delle città) su una mappa interattiva.
- Ricavare indicatori spaziali dalle relazioni geografiche (per esempio distanza di ciascuna città dal percorso di tempesta più vicino, numero di percorsi che intersecano una regione amministrativa o densità spaziale degli eventi nel tempo).
- Eseguire interrogazioni e analisi spaziali, comprese operazioni di buffer, intersezione e prossimità.
- Presentare i risultati tramite visualizzazioni spaziali, utilizzando mappe tematiche, livelli con codifica cromatica e stili basati sugli attributi.
- Interpretare le distribuzioni spaziali e i risultati, individuando le regioni maggiormente esposte alle tempeste e discutendo eventuali fattori geografici o ambientali.
- Confrontare le distribuzioni spaziali in diversi periodi, valutando se la posizione geografica o l'intensità degli impatti delle tempeste sia cambiata nel tempo.

Valutazione

Qual è lo scopo principale di un Sistema Informativo Geografico (GIS)?

A. Archiviare dati numerici in forma tabellare
B. Analizzare e visualizzare i dati in base alla posizione geografica
C. Sostituire i database relazionali
D. Generare modelli di machine learning

Quale delle seguenti descrizioni rappresenta meglio un tipo di dato spaziale?

A. Un tipo di dato utilizzato soltanto per l'analisi delle serie temporali
B. Un tipo di dato che rappresenta oggetti geografici come punti, linee o poligoni
C. Un formato compresso per dataset di grandi dimensioni
D. Un tipo di dato utilizzato esclusivamente per immagini raster

Qual è il ruolo di un sistema di riferimento delle coordinate (CRS) nelle applicazioni GIS?

A. Definire come sono cifrati i dati geografici
B. Specificare come i dati spaziali sono proiettati e posizionati sulla superficie terrestre
C. Controllare le autorizzazioni di accesso al database
D. Ottimizzare la velocità di esecuzione delle interrogazioni

Quale operazione spaziale è più appropriata per individuare le città situate entro una certa distanza da un percorso di tempesta?

A. Filtro sugli attributi
B. Creazione di buffer e analisi di prossimità
C. Normalizzazione dei dati
D. Join tra tabelle

In che modo Oracle Spatial Studio semplifica le analisi spaziali?

A. Richiedendo di scrivere manualmente query SQL spaziali complesse
B. Limitando l'analisi a dataset predefiniti
C. Fornendo un'interfaccia grafica che genera automaticamente le interrogazioni spaziali
D. Memorizzando i dati spaziali all'esterno del database

Riferimenti bibliografici

[1] Goodchild, M. F. *Geographical Information Science.* International Journal of Geographical Information Systems *6,* no. 1 (1992): 31–45. https://doi.org/10.1080/02693799208901893

[2] Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., and Rhind D. W.. *Geographic Information Systems and Science*. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2015.

[3] Wael A., Suhaib M., Adel E.S., Salem M. *Tigris River water surface quality monitoring using remote sensing data and GIS techniques*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, Volume 26, Issue 3, December 2023, Pages 816-825, https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.09.001

[4] NASA Earth Observatory. *Remote Sensing and GIS for Environmental Monitoring*. https://earthobservatory.nasa.gov (Accessed January 2026)

[5] NASA Earthdata. *Worldview: Interactive Visualization of Earth Science Data*. https://worldview.earthdata.nasa.gov (Accessed January 2026)

[6] Burrough, Peter A., Rachael A. McDonnell, and Christopher D. Lloyd. *Principles of Geographical Information Systems*. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.

[7] Global Forest Watch. *Forest Monitoring Designed for Action.* https://www.globalforestwatch.org/ (Accessed January 2026)

[8] *GIS Data Types: Vector vs. Raster.* Geospatial Innovation Facility, UC Berkeley, http://gif.berkeley.edu/documents/GIS_Data_Formats.pdf (Accessed January 2026)

[9] Open Geospatial Consortium (OGC). *OGC Standards and Geospatial Interoperability*. https://www.ogc.org/standards (Accessed January 2026).

[10] Environmental Systems Research Institute (ESRI). *What Is GIS?* Environmental Systems Research Institute. https://www.esri.com/en-us/what-is-gis (Accessed January 2026)

[11] Heywood, Ian, Sarah Cornelius, and Steve Carver. *An Introduction to Geographical Information Systems*. 4th ed. Harlow, UK: Pearson Education, 2011.

[12] ISO. *ISO 19157:2013 – Geographic Information: Data Quality*. Geneva: International Organization for Standardization, 2013.

[13] U.S. Geological Survey (USGS). *Real-time Data and Maps.* https://www.usgs.gov (Accessed January 2026)

[14] Natural Earth. *Free Vector and Raster Map Data*. (Accessed January 2026). https://www.naturalearthdata.com

[15] QGIS Project. *QGIS Documentation*. https://www.qgis.org. (Accessed January 2026).

[16] PostGIS. PostGIS *Documentation*. https://postgis.net/ (Accessed January 2026).

[17] Yenra.com. *AI Techniques in Geospatial Analysis*. https://yenra.com/ai-tech/geospatial-analysis. (Accessed January 2026).

[18] L. Tum, T. Dedring, A. Rienow. *Geospatial Intelligence for Sustainable Futures: Smart Data and AI Applications in Geographic Education*. NFDI4Earth Project. https://lps25.esa.int/lps25-presentations/poster/Geospatial%20Intelligence%20for%20Sustainable%20Futures%20S

mart%20Data%20and%20AI%20Applications%20in%20Geographic%20Education.pdf (Accessed January 2026).

[19] GeoWGS84AI. *GeoAI: Transforming GIS with AI and Deep Learning.* https://www.geowgs84.ai/post/geoai-transforming-gis-with-ai-and-deep-learning (Accessed January 2026).

[20] S. Somvanshi, D. Kumar, M. Kumari. *Trends of recent data, AI/ML approaches for geospatial AI in Earth observation towards sustainable development goals.* ITU Journal on Future and Evolving Technologies, Volume 6 (2025), Issue 1, Pages 11-28. March 2025. doi: https://doi.org/10.52953/CDIE7940

[21] Oracle. Spatial Database (OracleSpatial). https://www.oracle.com/database/spatial-database/ (Accessed January 2026).

[22] Oracle. Spatial Studio. https://docs.oracle.com/en/database/oracle/spatial-studio/25.2/index.html (Accessed January 2026).

[23] Oracle. *Oracle Spatial Studio Guide.* https://docs.oracle.com/en/database/oracle/spatial-studio/21.2/spstu/using-spatial-studio.html#GUID-6C58FFBA-7419-471C-BDDD-7554BEC049EA (Accessed January 2026).

[24] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Tornado Statistics Data.* https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/tornadoes/ (Accessed January 2026).

[25] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Various Monitoring Information Data.* https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/products (Accessed January 2026).

[26] DATA.GOV. *Dataset of U.S. cities (including basic demographic and geographic attributes).* https://catalog.data.gov/dataset/?tags=cities&_tags_limit=0 (Accessed January 2026).

GIS Learning

[27] [REF] PostGIS Project. Introduction to PostGIS. PostGIS Introduction Workshop. PostGIS, https://postgis.net/workshops/postgis-intro/ (Accessed January 2026)

[28] [REF] GISGeography, Learn GIS and Geography, https://gisgeography.com (Accessed January 2026)

[29] [REF] GISGeography, The Ultimate List of GIS Formats and Geospatial File Extensions, https://gisgeography.com/gis-formats/ (Accessed January 2026)

[30] [REF] GISGeography, Vector vs Raster in GIS: What's the Difference? https://gisgeography.com/spatial-data-types-vector-raster/ (Accessed January 2026)

[31] *Principles of GIS and Remote Sensing*. Free Online Course. https://principles-and-applications-of-rs-and-gis.readthedocs.io/en/stable/index.html# (Accessed January 2026)

[32] GISGeography. *Learn GIS and Geography*. https://gisgeography.com/spatial-join/ (Accessed January 2026)

Data Sources

[33] NASA Earth Observatory. *Global Maps.* https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/global-maps/ (Accessed January 2026)

[34] Global Forest Watch. *Forest Monitoring Designed for Action.* (Accessed January 2026) https://www.globalforestwatch.org/map/?menu=eyJkYXRhc2V0Q2F0ZWdvcnkiOiJmb3Jlc3RDaGFuZ2UiLCJtZW51U2VjdGlvbiI6ImRhdGFzZXRzIn0%3D

[35] ESA Climate Office. *Data*. https://climate.esa.int/en/data/ (Accessed January 2026)

[36] NASA GISS (Goddard Institute for Space Studies). *Datasets and Images.* https://data.giss.nasa.gov (Accessed January 2026)

[37] NOAA Climate.gov. *Maps*. https://www.climate.gov/maps-data (Accessed January 2026)

[38] Copernicus Data Space Ecosystem. ESA. *Data Collections*. (Accessed January 2026). https://dataspace.copernicus.eu/data-collections

[39] U.S. Geological Survey (USGS) EarthExplorer. *Datasets.* (Accessed January 2026). https://earthexplorer.usgs.gov

[40] Eurostat. *Data*. https://ec.europa.eu/eurostat/data (Accessed January 2026).

[41] Natural Earth. Free vector and raster map data. https://www.naturalearthdata.com (Accessed January 2026).

[42] OpenStreetMap. Export data. (Accessed January 2026). https://www.openstreetmap.org/export#map=18/41.984784/21.419346

[43] EUMETSAT. User Portal. https://user.eumetsat.int/catalogue (Accessed January 2026).

[44] European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Charts Catalogue. https://charts.ecmwf.int (Accessed January 2026).