Presentazione DP MA Bacchiglione Libreria integrata di rilievi 3D, fotogrammetria, analisi stratigrafica e metadati

Documento di specifiche tecniche di elaborazione

Sommario

1. Obiettivi del Data Product 3
2. Origine dei dati ed eventuali elaborazioni 6
3. Tecnologie utilizzate all'interno del Data Product Lab 7
   3.1. Servizi abilitanti DPaaS 9
   3.2. Eventuali tecnologie esterne a DPaaS 10
4. Pipeline di elaborazione e trasformazione 11
5. Esposizione e distribuzione 14
6. Possibili evoluzioni future 18

1. Obiettivi del Data Product

Nell'ambito del Lotto 4 del Dialogo Competitivo (PNRR – Missione 1, Componente 3), il Data Product "Castello di San Martino - Libreria integrata di rilievi 3D, fotogrammetria, analisi stratigrafica e metadati" è stato sviluppato per il Museo Archeologico del Fiume Bacchiglione (MA Bacchiglione) con l'obiettivo di supportare le attività di documentazione, analisi e restauro del bene e, allo stesso tempo, favorirne la valorizzazione e la fruizione culturale.

Il Data Product raccoglie e mette in relazione diverse tipologie di informazioni sul bene, integrando rilievi laser scanner, rilievi fotogrammetrici e documentazione di analisi stratigrafica all'interno di un dataset strutturato e interoperabile. I dati vengono inoltre arricchiti con il supporto dell'Intelligenza Artificiale, utilizzata per l'estrazione di metadati semantici e per la produzione di contenuti destinati a diverse tipologie di pubblico, comprese descrizioni divulgative e audio guide.

L'integrazione di queste informazioni permetterà di ottenere una rappresentazione digitale più completa e strutturata del bene culturale, mettendo a disposizione dei professionisti modelli tridimensionali accurati e arricchiti semanticamente, sui quali sarà possibile effettuare valutazioni, confronti e simulazioni a supporto delle attività di restauro. La standardizzazione e l'interoperabilità dei dati ne faciliteranno inoltre il riutilizzo in differenti contesti applicativi e l'integrazione con altri sistemi e applicazioni.

Il Data Product trova applicazione principalmente negli ambiti della diagnostica, del restauro e del monitoraggio del patrimonio culturale, oltre che nelle attività di gestione e arricchimento dei dati. In questo contesto potrà supportare la documentazione, la modellazione, la gestione e la simulazione degli interventi di restauro e, parallelamente, la produzione di contenuti destinati alla valorizzazione e alla fruizione del bene culturale.

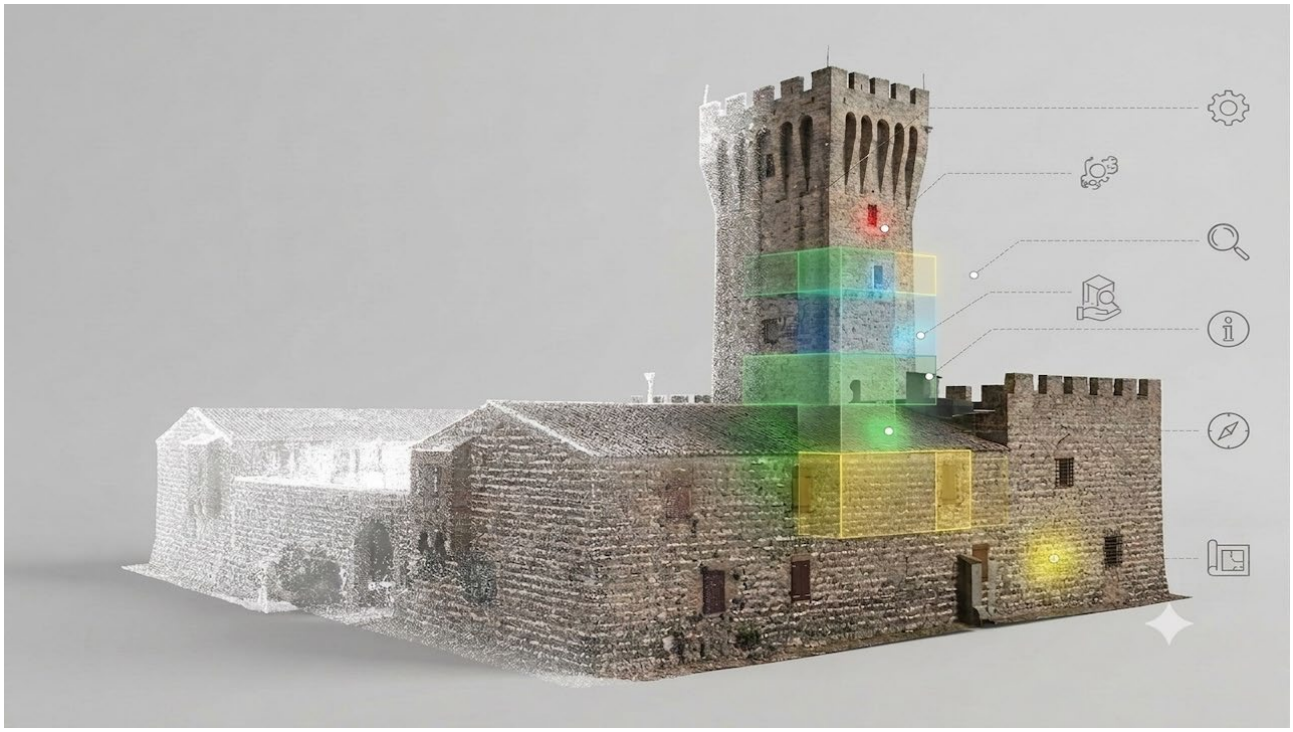


Figura 1 Cover Data Product castello di San Martino

Coerentemente con questi ambiti, il Data Product si rivolge a diverse tipologie di utenti, quali:

- **Data Producer**, responsabili del caricamento dei dati sorgente e dell'avvio della pipeline di elaborazione;
- **Ricercatori, restauratori e operatori**, che potranno utilizzare i modelli 3D e i dati associati nelle attività specialistiche di analisi, documentazione, modellazione e simulazione del restauro;
- **Data Consumer**, che potranno consultare e riutilizzare i dataset e i metadati generati all'interno dei propri flussi di lavoro;
- **Visitatori**, che potranno accedere ai contenuti destinati alla fruizione culturale, tra cui scene 3D, testi e contenuti audio;
- **Product Manager** e amministratori di piattaforma, coinvolti nella supervisione delle risorse computazionali, nel monitoraggio dei processi e nella gestione degli accessi.

Al termine dei processi di elaborazione, il Data Product metterà a disposizione nuvole di punti ottimizzate per la fruizione tridimensionale, modelli 3D e nuvole di punti ottimizzati per la fruizione tridimensionale, metadati semantici relativi agli elementi architettonici, testi stratigrafici strutturati, descrizioni divulgative multi-target rivolte sia agli esperti sia al pubblico generico e audio guide nei formati MP3 e WAV.

I principali casi d'uso individuati sono:

- **Gestione di progetti di restauro 3D**, attraverso la creazione e la gestione di progetti di documentazione, modellazione e simulazione del restauro a partire da rilievi 3D e dati diagnostici;
- **Gestione delle versioni e delle epoche del modello**, con la possibilità di gestire differenti versioni ed epoche del modello 3D e confrontare lo stato attuale del bene, le ipotesi di restauro e gli scenari storici, mettendo in relazione rilievi, stato di conservazione e interventi;
- **Arricchimento semantico e generazione di contenuti divulgativi**, mediante l'estrazione di informazioni da immagini e documentazione con l'ausilio di moduli di Intelligenza Artificiale e la produzione di contenuti differenziati in base alla tipologia di utente;
- **Esplorazione immersiva** multi-epoca dello scenario 3D, attraverso la navigazione dello scenario tridimensionale e del relativo contesto archeologico, con la possibilità di passare tra differenti epoche storiche e visualizzare i layer relativi agli interventi di restauro;
- **Interazione con punti di interesse e contenuti multimediali**, mediante l'accesso a contenuti testuali, iconografici, audio e video associati agli oggetti e alle diverse aree del modello.

Nel complesso, il Data Product permetterà di mettere in relazione dati e contenuti che descrivono il bene da prospettive differenti, offrendo ai professionisti strumenti utili per le attività di analisi, documentazione e restauro. La possibilità di gestire e confrontare differenti versioni del modello consentirà inoltre di documentare nel tempo le diverse fasi del bene e gli interventi effettuati. Allo stesso tempo, la disponibilità di contenuti ideati per diverse tipologie di pubblico contribuirà a rendere il patrimonio culturale più accessibile e comprensibile anche agli utenti non specialisti.

2. Origine dei dati ed eventuali elaborazioni

Il Data Product viene realizzato a partire da diverse tipologie di dati relativi al bene culturale. I dati sorgente comprendono **nuvole di punti, rilievi e modelli fotogrammetrici, documentazione di analisi stratigrafica, immagini e video**.

La diversità delle fonti costituisce un valore aggiunto per il Data Product, poiché permette di raccogliere e mettere in relazione informazioni complementari sul bene culturale. L'integrazione dei rilievi tridimensionali e fotogrammetrici con la documentazione stratigrafica e i contenuti visivi contribuirà a restituire una rappresentazione digitale più completa e strutturata del bene, mettendo a disposizione informazioni utili per le attività di analisi, documentazione e restauro, nonché per la sua valorizzazione e fruizione.

I dati in ingresso sono disponibili nei formati **LAS/LAZ, GLB/GLTF, TIFF/JPEG/PNG, PDF/TXT e video**, in funzione delle diverse tipologie di contenuto trattate. I materiali vengono acquisiti all'interno del Data Product mediante il caricamento nello **storage S3**, che costituisce il punto di ingresso dei dati nella pipeline e dal quale vengono resi disponibili alle successive attività di elaborazione.

Prima dell'avvio delle elaborazioni, i dati sorgenti vengono sottoposti a una fase di **validazione**, durante la quale vengono verificati il formato e l'integrità delle nuvole di punti, dei modelli 3D, delle immagini e della documentazione sorgente. Questi controlli permettono di individuare eventuali anomalie prima di procedere con le successive fasi della pipeline.

A partire dai dati caricati nello storage S3 hanno quindi inizio le attività svolte all'interno del **DP Lab**, che comprendono le operazioni di validazione, trasformazione e arricchimento previste dalla pipeline del Data Product.

3. Tecnologie utilizzate all'interno del Data Product Lab

La realizzazione del Data Product si basa su un insieme di tecnologie e servizi che supportano le diverse fasi del processo, dall'acquisizione e gestione dei dati sorgente fino alla loro elaborazione, arricchimento e distribuzione. I diversi componenti sono integrati all'interno della pipeline in funzione della tipologia di dato trattato e delle operazioni da eseguire.

Il Data Product è sviluppato in **Python** e viene eseguito all'interno di un **contenitore VM** per lo **sviluppo full-code del DP Lab**. L'architettura prevede l'utilizzo di servizi per lo **storage e** la **gestione dei dati**, componenti dedicati all'**elaborazione dei contenuti tridimensionali**, strumenti di **Intelligenza Artificiale** per l'estrazione e l'arricchimento delle informazioni e servizi per la **generazione e distribuzione dei contenuti** derivati.

In particolare, lo **storage S3** viene utilizzato sia per la conservazione dei dati sorgente, tra cui documentazione stratigrafica, rilievi laser scanner, modelli 3D, immagini e video, sia per la memorizzazione del dataset elaborato e dei risultati prodotti dalla pipeline. **PostgreSQL** viene invece utilizzato come database relazionale per la gestione dei metadati e dei log, oltre che delle informazioni spaziali relative ai luoghi.

L'accesso e la gestione dei dati sono supportati dal **Web Service del Data Product (WSDP)**, sviluppato attraverso **FastAPI**, che espone le **API REST** del Data Product e gestisce le diverse entità che compongono il dataset, tra cui lingue, contenuti, target, audio, immagini, modelli 3D, luoghi e reperti storici. Attraverso il WSDP, i risultati delle elaborazioni possono essere resi disponibili ai sistemi client mediante le API REST e la funzione di download.

Per quanto riguarda i contenuti tridimensionali, il processo prevede attività di **conversione e ottimizzazione multi-risoluzione** delle nuvole di punti e dei modelli 3D, finalizzate alla produzione di contenuti nei formati **GLB, GLTF e CESIUM**.

Le elaborazioni basate su Intelligenza Artificiale si avvalgono invece dei **servizi CPA** disponibili nel catalogo della piattaforma DPaaS. Tali servizi intervengono nelle attività di estrazione ed elaborazione dei contenuti testuali, nell'analisi semantica delle immagini, nella generazione di contenuti divulgativi, nella produzione delle audio guide e nell'elaborazione delle immagini. Le elaborazioni AI non vengono quindi eseguite direttamente dal Data Product, ma vengono delegate ai diversi servizi CPA in funzione del tipo di dato e dell'operazione da effettuare.

Nel complesso, i diversi componenti operano all'interno di un flusso integrato: i dati sorgente vengono acquisiti nello storage S3 e successivamente prelevati dalla pipeline per le attività di trasformazione e arricchimento. Gli output prodotti vengono quindi memorizzati nuovamente nello storage S3 come dataset elaborato, dal quale possono essere gestiti ed esposti attraverso il WSDP.

3.1. Servizi abilitanti DPaaS

Nell'ambito delle attività di elaborazione e arricchimento dei dati, il Data Product utilizza i servizi **CPA** (**Content Processing Advanced**) disponibili nel catalogo della piattaforma **DPaaS**. Questi mettono a disposizione le funzionalità necessarie per eseguire le elaborazioni basate sull'Intelligenza Artificiale e vengono utilizzati in funzione della tipologia di dato da trattare e dell'operazione da effettuare.

Le elaborazioni di Intelligenza Artificiale non vengono eseguite direttamente all'interno del Data Product, ma vengono delegate ai diversi servizi CPA. In questo modo, ciascun servizio può essere utilizzato per una specifica attività, come l'estrazione di informazioni da documenti e immagini, l'analisi semantica dei contenuti, la generazione di descrizioni divulgative o la produzione di contenuti audio.

Dal punto di vista dell'integrazione con gli altri componenti, i servizi CPA intervengono nella fase di trasformazione dei dati. I materiali sorgente vengono inizialmente caricati nello **storage S3** e, a partire da questo, la pipeline preleva i contenuti necessari e li sottopone alle elaborazioni previste attraverso il servizio CPA più adatto. I risultati prodotti vengono successivamente memorizzati nuovamente nello storage S3, andando a costituire parte del dataset elaborato, e sono resi disponibili all'interno della sottocartella "./export/".

I servizi CPA utilizzati dal Data Product intervengono sulle diverse tipologie di dati e contenuti gestiti, svolgendo specifiche funzioni nelle attività di elaborazione e arricchimento. Nel dettaglio:

- **Kosmos2**, utilizzato per l'estrazione di informazioni testuali dalle immagini e per l'analisi semantica delle immagini di rilievo. Quest'ultima consente di ricavare informazioni relative agli elementi architettonici rappresentati, contribuendo alla produzione dei metadati semantici associati al bene culturale;
- **OCR**, impiegato per l'estrazione del contenuto testuale dalla documentazione di analisi stratigrafica. I testi ottenuti vengono resi disponibili per le successive attività di elaborazione previste dalla pipeline;
- **LLAMA31**, utilizzato per l'elaborazione dei testi stratigrafici e per la generazione di descrizioni divulgative multi-target. I contenuti prodotti vengono differenziati in funzione dei destinatari, prevedendo una versione rivolta agli esperti e una destinata al pubblico generico;

- **Text-to-Speech**, utilizzato per trasformare le descrizioni divulgative in audio guide. Gli output prodotti vengono resi disponibili nei formati **MP3 e WAV**, affiancando alla consultazione testuale una modalità di fruizione audio dei contenuti relativi al bene culturale;
- **Image-to-Image**, impiegato per le elaborazioni applicate alle immagini di rilievo e alla documentazione, intervenendo sulla componente visiva dei materiali trattati dal Data Product.

Nel loro insieme, i servizi CPA consentono di trattare tipologie di contenuto differenti e di trasformare i materiali sorgente in informazioni e contenuti utilizzabili all'interno del Data Product. I risultati delle diverse elaborazioni contribuiscono alla costruzione e all'arricchimento del **dataset elaborato**, memorizzato nello storage S3 e costituito dai diversi output prodotti nel corso del processo, tra cui documenti, contenuti testuali e semantici, file audio e immagini elaborate.

Il dataset così ottenuto può essere successivamente gestito ed esposto dal **WSDP** attraverso le API REST del Data Product.

3.2. Eventuali tecnologie esterne a DPaaS

Nell'ambito delle attività di elaborazione previste dal Data Product, oltre ai servizi abilitanti disponibili all'interno della piattaforma DPaaS, viene utilizzato il modello di Intelligenza Artificiale Trellis, che rappresenta una componente tecnologica esterna alla piattaforma.

Trellis viene impiegato per la generazione di modelli tridimensionali a partire da immagini. In particolare, a partire dall'immagine di un oggetto, il modello consente di ricostruire una rappresentazione 3D dell'oggetto raffigurato, ampliando le possibilità di produzione dei contenuti tridimensionali utilizzati nell'ambito del Data Product.

L'impiego di Trellis si affianca quindi alle altre tecnologie utilizzate per l'elaborazione e l'arricchimento dei dati, introducendo una funzionalità specificamente dedicata alla generazione di contenuti 3D a partire da contenuti visuali.

4. Pipeline di elaborazione e trasformazione

La pipeline si avvia a partire dai dati di input scaricati dallo storage S3: un pacchetto di dati sorgente relativo al Castello di San Martino, composto da dati di diversa natura come: documenti PDF, documenti testuali, immagini e nuvole di punti. L'elaborazione vera e propria non viene però eseguita dal Data Product, ma delegata a una serie di servizi CPA esterni disponibili a catalogo che, pur restando fuori dal perimetro del DP, concorrono insieme alla produzione del dataset elaborato finale.

L'esecuzione avviene in modalità batch: ogni pacchetto di input viene processato una sola volta al momento del caricamento. Una rielaborazione dello stesso pacchetto è possibile solo in un momento successivo, qualora i dati sorgente vengano aggiornati.

1. Estrazione testo (OCR)

A partire dal PDF relativo all'analisi stratigrafica del Castello di San Martino, viene eseguita un'estrazione automatica del testo tramite algoritmo di OCR. L'output è il testo grezzo estratto dal documento, che confluisce nell'insieme dei testi di input insieme agli altri contenuti testuali già presenti nel dataset sorgente. Eventuali pagine non leggibili o con OCR a bassa confidenza vengono segnalate nel log di elaborazione per una verifica manuale.

2. Generazione dei testi targettizzati

Tutti i testi del dataset di input, compreso quello estratto dall'analisi stratigrafica, vengono elaborati tramite il large language model LLAMA 3.1 per produrre tre versioni distinte dei contenuti, targettizzate rispettivamente per esperti del settore, visitatori e bambini. La trasformazione applicata non è una semplice sintesi, ma una riscrittura calibrata su registro linguistico, livello di dettaglio tecnico e lunghezza in funzione del pubblico di destinazione. L'output è costituito da tre varianti testuali per ciascun contenuto sorgente, in lingua italiana.

3. Traduzione dei testi targettizzati

I testi targettizzati prodotti nella fase precedente vengono tradotti in lingua inglese, mantenendo la medesima targettizzazione per pubblico (esperti, visitatori, bambini). L'output raddoppia quindi il numero di varianti testuali disponibili, rendendo il contenuto fruibile in entrambe le lingue.

4. Generazione audio (text-to-speech)

In parallelo, per ciascuna variante testuale targettizzata, sia in italiano sia in inglese, viene generato il relativo file audio tramite un modello AI di text-to-speech. Si ottiene così un audio dedicato per ciascun testo, mantenendo la corrispondenza tra file audio, contenuto, pubblico e lingua di riferimento.

5. Generazione dei modelli 3D e pulizia delle nuvole di punti

Indipendentemente dal ramo testuale, a partire dalle immagini di reperti e fasi costruttive del castello presenti nel dataset di input viene eseguita la generazione di modelli 3D tramite Trellis, un modello AI in grado di ricostruire una geometria tridimensionale a partire da una singola immagine. Parallelamente, le nuvole di punti già presenti nel dataset di input vengono sottoposte a un'operazione di pulizia, volta a rimuovere rumore e outlier geometrici. L'output di questa fase è costituito dai modelli 3D generati e dalle nuvole di punti ripulite, pronte per essere incluse nel dataset elaborato.



Figura 2 Esempio di creazione di un modello 3D data un'immagine

6. Composizione ed esposizione del dataset elaborato

Gli output di tutte le fasi precedenti vengono riscritti su S3 come dataset elaborato, accessibile nella sotto-cartella ./export/. Il WSDP espone il dataset tramite API REST, organizzato per entità (lingue, contenuti, target, audio, immagini, modelli 3D, luoghi, reperti storici); i metadati e i log di elaborazione sono persistiti su PostgreSQL, a supporto della tracciabilità e del controllo di qualità sull'intero processo.

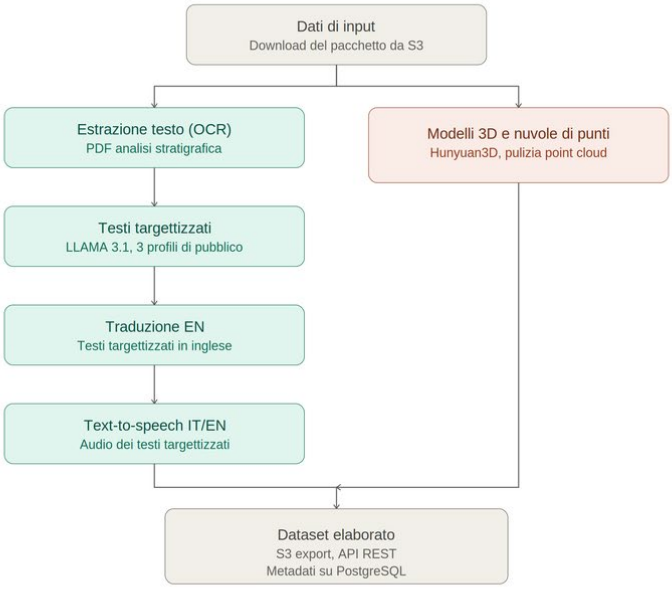


Figura 3 Workflow creazione dei risultati del Data Product

5. Esposizione e distribuzione

Il Data Product viene reso disponibile attraverso due principali modalità di fruizione: il download manuale del dataset e l'accesso programmatico tramite API REST. Le due modalità rispondono a differenti esigenze di utilizzo, poiché il download consente il recupero diretto dei dati e dei contenuti prodotti, mentre le API permettono di interrogare le informazioni e integrarle all'interno di applicazioni e sistemi esterni.

Gli output delle elaborazioni sono conservati nello **storage S3** dedicato al dataset elaborato, mentre il Web Service del Data Product (**WSDP**) ne supporta l'esposizione programmatica attraverso le API REST. Il dataset comprende contenuti di diversa natura, tra cui modelli tridimensionali, nuvole di punti ottimizzate, metadati semantici, documentazione stratigrafica elaborata, descrizioni divulgative e contenuti audio.

I destinatari dell'esposizione comprendono sia utenti interessati alla consultazione e al riutilizzo dei dati sia sistemi che necessitano di integrarli nei propri flussi applicativi. In particolare:

- i Data Consumer possono consultare, riutilizzare e integrare dataset 3D e metadati;
- ricercatori, restauratori e tecnici possono utilizzare i modelli e i dati associati nelle attività specialistiche;
- i visitatori possono fruire dei contenuti derivati, tra cui scene 3D, testi e audio;
- i profili dedicati ai Data Producer, ai Product Manager e agli Amministratori di Piattaforma, dispongono di funzioni legate rispettivamente all'alimentazione del Data Product e alla gestione e supervisione del sistema.

L'elaborazione dei dati è organizzata per lotti di dati sorgente e può essere avviata manualmente, da un operatore, oppure in maniera programmata. Questa modalità consente il progressivo aggiornamento del dataset in funzione dei dati sottoposti alle elaborazioni previste dalla pipeline.

Il Data Product è classificato come **Public** ed è distribuito con licenza **CC BY-NC-SA 4.0**. Le modalità di esposizione previste permettono quindi di rendere i dati fruibili sia per la consultazione e il riutilizzo diretto sia per l'integrazione all'interno di applicazioni e sistemi esterni.

Fruizione tramite dataset

La modalità di download manuale consente di recuperare direttamente il dataset elaborato e i diversi contenuti prodotti nel corso delle elaborazioni. Il dataset è strutturato in modo da integrare dati tridimensionali, informazioni descrittive e contenuti multimediali, mettendo in relazione le diverse risorse relative al bene culturale.

In particolare, sono disponibili **modelli 3D** in formato **OBJ/GLTF**, **point cloud LAS/LAZ** ottimizzate **per CESIUM**, metadati semantici relativi agli elementi architettonici in formato **JSON**, documentazione stratigrafica strutturata e categorizzata nei formati **TXT/JSON**, descrizioni divulgative multi-target nei formati TXT/JSON e audio guide nei formati **MP3/WAV**. Il dataset comprende inoltre metadati integrati compatibili con il web editor 3D della piattaforma.

Dal punto di vista logico, le informazioni sono organizzate attraverso entità che consentono di descrivere e mettere in relazione le diverse risorse del Data Product.

In particolare, la struttura del dataset comprende le seguenti entità principali:

- target, utilizzati per differenziare i contenuti in funzione del pubblico;
- contenuti, che rappresentano le descrizioni testuali associate a punti di interesse, reperti e luoghi;
- audio;
- immagini;
- modelli 3D;
- luoghi;
- reperti storici.

Le relazioni tra queste entità permettono di associare ai contenuti informazioni quali la lingua e il target di destinazione e di collegare testi, audio, immagini e modelli tridimensionali alle risorse cui fanno riferimento. I luoghi sono inoltre organizzati secondo relazioni gerarchiche e possono essere associati a punti di interesse, modelli 3D e contenuti, mentre i reperti storici possono essere collegati a luoghi, immagini, modelli tridimensionali e contenuti testuali o multimediali.

Le diverse entità che compongono il dataset sono corredate da **metadati descrittivi**, che permettono di caratterizzare le risorse e di fornire le informazioni necessarie alla loro corretta identificazione e fruizione.

Nel caso dei contenuti audio, ad esempio, vengono mantenute informazioni relative al formato, alla durata, alla lingua e al target di riferimento, oltre al collegamento con il contenuto a cui l'audio è associato. Le immagini, invece, sono descritte tramite informazioni quali dimensioni, testo alternativo e copyright, mentre i modelli 3D sono corredati da dati relativi al formato, al riferimento spaziale, al livello di dettaglio e al bounding box. In questo modo, ciascuna tipologia di risorsa viene accompagnata dalle informazioni necessarie a descriverne le principali caratteristiche e a contestualizzarne l'utilizzo all'interno del Data Product.

La fruizione tramite download rappresenta quindi la modalità destinata al recupero diretto del dataset, permettendo all'utente di utilizzare i dati e gli asset disponibili anche nei propri strumenti e flussi di lavoro.

Fruizione tramite API

L'accesso programmatico al Data Product avviene attraverso le API REST esposte dal Web Service del Data Product (**WSDP**). Questa modalità di fruizione è rivolta principalmente ad applicazioni e sistemi client che necessitano di consultare e utilizzare in maniera strutturata le informazioni disponibili, consentendone l'integrazione all'interno di servizi e flussi applicativi esterni.

Attraverso le API è possibile accedere alle principali entità che compongono il dataset e alle relazioni esistenti tra di esse. In particolare, possono essere consultate le informazioni relative a contenuti, target, lingue, audio, immagini, modelli 3D, luoghi e reperti storici, permettendo di recuperare le risorse e i relativi metadati in funzione delle specifiche esigenze di utilizzo.

Le API consentono, inoltre, di accedere al dettaglio delle singole risorse e di navigare i collegamenti definiti tra i diversi elementi del dataset. È possibile, ad esempio, associare i contenuti alla relativa lingua e al target di destinazione, oltre che recuperare le informazioni e gli asset associati a luoghi, reperti e agli altri elementi gestiti dal Data Product. In questo modo, l'utente o il sistema consumatore può interrogare in maniera selettiva le informazioni di interesse, senza dover necessariamente acquisire l'intero dataset.

Lo scambio delle informazioni avviene attraverso un'interfaccia **REST**, con dati strutturati in formato **JSON**. L'accesso alle risorse è protetto mediante un meccanismo di verifica della chiave API, utilizzato per autenticare le richieste rivolte al servizio.

Limitazioni

I limiti di utilizzo del Data Product sono principalmente riconducibili alla dimensione e alla complessità dei modelli 3D e delle nuvole di punti. La fruizione di questi contenuti, in particolare attraverso web browser, è infatti condizionata da caratteristiche quali il peso complessivo dei modelli, il numero di poligoni e la risoluzione delle texture, che possono incidere sui tempi di caricamento e sulle prestazioni della rete e dei dispositivi client, inclusi desktop e visori.

Il vincolo assume particolare rilevanza nel caso di modelli tridimensionali e nuvole di punti di grandi dimensioni o caratterizzati da un elevato livello di dettaglio. La quantità di informazioni necessarie alla loro rappresentazione può infatti rendere più oneroso il trasferimento e la visualizzazione dei contenuti, con possibili ripercussioni sulla fluidità della navigazione e, più in generale, sull'esperienza di fruizione.

Inoltre, la dimensione dei contenuti tridimensionali può incidere anche sulle attività di conversione e ottimizzazione. In presenza di modelli o nuvole di punti particolarmente complessi o di dimensioni elevate, possono emergere criticità durante le operazioni di conversione 3D e di predisposizione dei contenuti per la fruizione tramite CESIUM.

Per contenere tali criticità, i dati tridimensionali vengono sottoposti a processi di **ottimizzazione multi-risoluzione** e, ove necessario, possono essere utilizzati **livelli di dettaglio (LOD)** e meccanismi di **streaming progressivo tramite CESIUM**. Questi accorgimenti permettono di gestire in maniera più efficiente contenuti tridimensionali complessi e di favorirne il caricamento e la visualizzazione sui dispositivi utilizzati per la consultazione.

Tali aspetti vanno quindi considerati nella predisposizione e nella distribuzione dei contenuti, ricercando un equilibrio tra il livello di dettaglio delle rappresentazioni tridimensionali e le prestazioni necessarie alla loro consultazione sui diversi dispositivi client.

6. Possibili evoluzioni future

Il Data Product è stato progettato in modo da consentire successive evoluzioni e integrazioni, sia rispetto alle tipologie di dati e contenuti gestiti sia rispetto alle tecnologie utilizzate nelle diverse fasi di elaborazione.

Eventuali sviluppi futuri potranno essere orientati al miglioramento e all'estensione delle funzionalità di elaborazione, con particolare riferimento alla gestione dei contenuti tridimensionali, all'estrazione e all'arricchimento delle informazioni mediante tecniche di Intelligenza Artificiale e alla produzione di contenuti destinati alle diverse modalità di fruizione del bene culturale.

Ulteriori evoluzioni potranno inoltre riguardare l'ampliamento dei dati e dei contenuti disponibili, l'ottimizzazione delle modalità di gestione e fruizione dei modelli tridimensionali e il progressivo miglioramento dell'integrazione tra i diversi componenti e servizi utilizzati dal Data Product.

Le specifiche direttrici di evoluzione saranno definite sulla base delle esigenze che emergeranno durante l'utilizzo del Data Product e degli eventuali sviluppi futuri della piattaforma e dei servizi ad esso collegati.