

BIM e OpenVR: studio di una strategia per integrare le funzionalità della VR nei processi BIM

Ricerca e analisi delle limitazioni tecniche ed economiche attuali in campo BIM-VR mediante un caso studio reale e ipotesi di risoluzione con l'introduzione del nuovo standard interoperabile IFC compatibile in modo nativo con la VR

Federico Palumbo 261887

Scuola Master F.lli Pesenti – **Politecnico di Milano**
BIM Management in Construction Works



POLITECNICO
MILANO 1863

SCUOLA MASTER F.LLI PESENTI

Indice

1. Introduzione

1.1 Obiettivi della tesi	5
1.2 Struttura della tesi	6

2. Il caso studio P03PV02STRMI01A

2.1 Descrizione e del caso studio	7
2.2 Analisi del Piano di Gestione Informativa (PGI)	8
2.3 Modellazione informativa e geometrica	15
2.4 Configurazione ed esportazione IFC	34

3. Sviluppo di una strategia per integrare la VR nei processi BIM

3.1 Scenari possibili	38
-----------------------------	----

4 Limiti attuali in ambito BIM-VR

4.1 Importazione IFC in ambiente VR	40
---	----

5. L'ipotesi dello Standard IFX

5.1 IFX come evoluzione dell'IFC: verso l'OpenVR	49
5.2 Superamento delle limitazioni attuali	51
5.3 Struttura di IFX	55

6. Potenziale influenza dell'OpenVR sul mercato

6.1 Impatto economico e stima dell'OpenVR per una PMI	58
6.2 Impatto umano e resistenza al cambiamento	64

7. Conclusioni

7.1 Risultati e prospettive future	68
--	----

8. Fonti

8.1 Bibliografia principale	69
8.2 Sitografia principale	69

1 Introduzione

1.1 Obiettivi della tesi

Negli ultimi anni, il settore dell'Architettura, Ingegneria e Costruzioni (**AEC**) ha subito una profonda trasformazione grazie all'adozione del Building Information Modeling (**BIM**). Questo approccio ha rivoluzionato la gestione delle informazioni progettuali, consentendo una modellazione digitale avanzata che integra dati strutturali, architettonici e impiantistici lungo l'intero ciclo di vita dell'opera.

Parallelamente, la Realtà Virtuale (**VR**) ha compiuto passi da gigante, offrendo esperienze immersive in svariati settori. Tuttavia, nonostante questi progressi e l'enorme potenziale della VR, le principali software houses specializzate nello sviluppo di ambienti virtuali non hanno ancora rivolto un'attenzione significativa al mercato **BIM/AEC**. Nonostante il suo enorme potenziale, infatti, l'applicazione della VR in ambito BIM è oggi limitata quasi esclusivamente a fini **estetici** e di presentazione, senza un impatto significativo nei processi decisionali e di coordinamento. Attualmente, la VR viene spesso utilizzata solo nelle fasi finali del progetto per la visualizzazione del modello completato, senza contribuire attivamente alle fasi di verifica e gestione delle interferenze tra discipline.

Questa ricerca si propone di cambiare questa prospettiva, formulando una strategia di integrazione della VR nei vari **livelli di coordinamento BIM**, con l'obiettivo di trasformarla in uno strumento interattivo, operativo e collaborativo. L'idea è quella di sfruttare le potenzialità della VR non solo come un mezzo di navigazione immersiva fine a sé stessa, ma come supporto alle attività di coordinamento nel workflow BIM, consentendo ai vari team disciplinari, guidati dal BIM Coordinator, di analizzare interferenze, incongruenze e problematiche direttamente all'interno di un ambiente virtuale condiviso. I livelli di coordinamento e le relative attività di model checking non saranno più un'attività statica eseguita in autonomia dai coordinator che fornirà un output di dati e report, bensì un'esperienza visiva che permettere realmente ad ogni membro di comprendere il completo funzionamento dell'opera e di **"Visualizzare"** veramente le varie interferenze, errori o mancanze.

Per superare queste barriere e colmare le limitazioni tecniche ed economiche che oggi caratterizzano l'integrazione BIM-VR, la ricerca introduce l'ipotesi di un nuovo standard interoperabile, denominato **IFX (Industry Foundation eXtended)**. IFX, grazie all'integrazione nativa delle funzionalità VR al suo interno, mira a superare i laboriosi processi necessari di reimportazione dei modelli IFC all'interno dei software di VR e a bypassare le carenze tecniche di quest'ultimi nella lettura di IFC, configurando il nuovo concetto di **OpenVR**.

1.2 Struttura della tesi

La struttura della tesi è concepita per superare la concezione attuale della VR come semplice strumento di presentazione cinematografica, proponendo invece una strategia sistematica per la sua **integrazione** nei processi BIM in modo funzionale e interattivo.

La ricerca prende avvio dall'analisi di un caso studio reale, sviluppato nel corso del 2024 all'interno dell'azienda di ingegneria presso cui ho lavorato. Spinto dalla **passione** per il settore, ho autonomamente riflettuto sulle possibili ipotesi per incrementare il livello di interattività nei processi BIM, a mio avviso eccessivamente statici. Da qui ho poi tentato quindi di applicare le funzionalità VR ai modelli interoperabili IFC previa importazione di quest'ultimi nei relativi software di visualizzazione VR. Tuttavia, questo processo ha evidenziato numerose **limitazioni** tecniche e operative, che ho analizzato in modo approfondito al fine di individuare le principali criticità nell'attuale **integrazione** tra BIM e VR.

L'individuazione di questi limiti ha portato alla formulazione della proposta di un nuovo standard evoluto dell'IFC, denominato **IFX**, concepito per integrare nativamente la VR nei flussi di lavoro BIM, superando le problematiche attuali riscontrate e migliorando l'interoperabilità.

Infine, verrà condotta un'analisi sull'impatto economico dell'**OpenVR** per le piccole e medie imprese, evidenziando il potenziale risparmio derivante dall'adozione dell'IFX. In particolare, verrà stimato il beneficio economico legato all'eliminazione della necessità di acquistare licenze proprietarie per i software VR attualmente indispensabili per la visualizzazione dei modelli BIM.

Attraverso questa struttura, la tesi fornisce un'analisi completa e dettagliata della proposta IFX, dimostrando la necessità di uno standard aperto che renda la VR un elemento integrante e strategico nei processi BIM.

2. Il caso studio P03PV02STRMI01A

2.1 Descrizione e del caso studio

Il caso studio preso in esame verte la **modellazione di un viadotto** che scavalchi il **fiume Naviglio** nel comune di **Goito**¹, in provincia di Mantova. Si tratta di un'infrastruttura chiave all'interno di un progetto molto più ampio che prevede la realizzazione ex novo di più viadotti e ponti per il collegamento tra le aree centrali e periferiche del territorio comunale. L'obiettivo è migliorare la viabilità locale e intercomunale limitando i tempi di percorrenza.

L'intera commessa è stata bandita dalla Regione Lombardia, stazione appaltante di riferimento per l'intero progetto e, sotto forma di R.T.I. (raggruppamento temporaneo d'impresa), vi sono le imprese esecutrici, caratterizzate orizzontalmente da un'impresa mandataria (quella per cui ho collaborato alla realizzazione di questa attività) e le relative mandanti.

Attualmente, il progetto si trova alla fase di **Progetto Definitivo (PD)**,² il che significa che tutte le analisi tecniche, economiche e ambientali sono state condotte per fornire un quadro preciso della fattibilità e dell'impatto dell'opera. Il Progetto Definitivo include una modellazione accurata della struttura del viadotto, delle fondazioni, delle rampe di accesso e di tutti gli elementi accessori che ne garantiscono la funzionalità e la sicurezza. Il caso studio si inserisce all'interno di un ampio progetto che ha come obiettivo finale il miglioramento della **connessione intercomunale** e facilitare gli spostamenti tra i centri abitati limitrofi, creando nuove opportunità di mobilità per i cittadini.

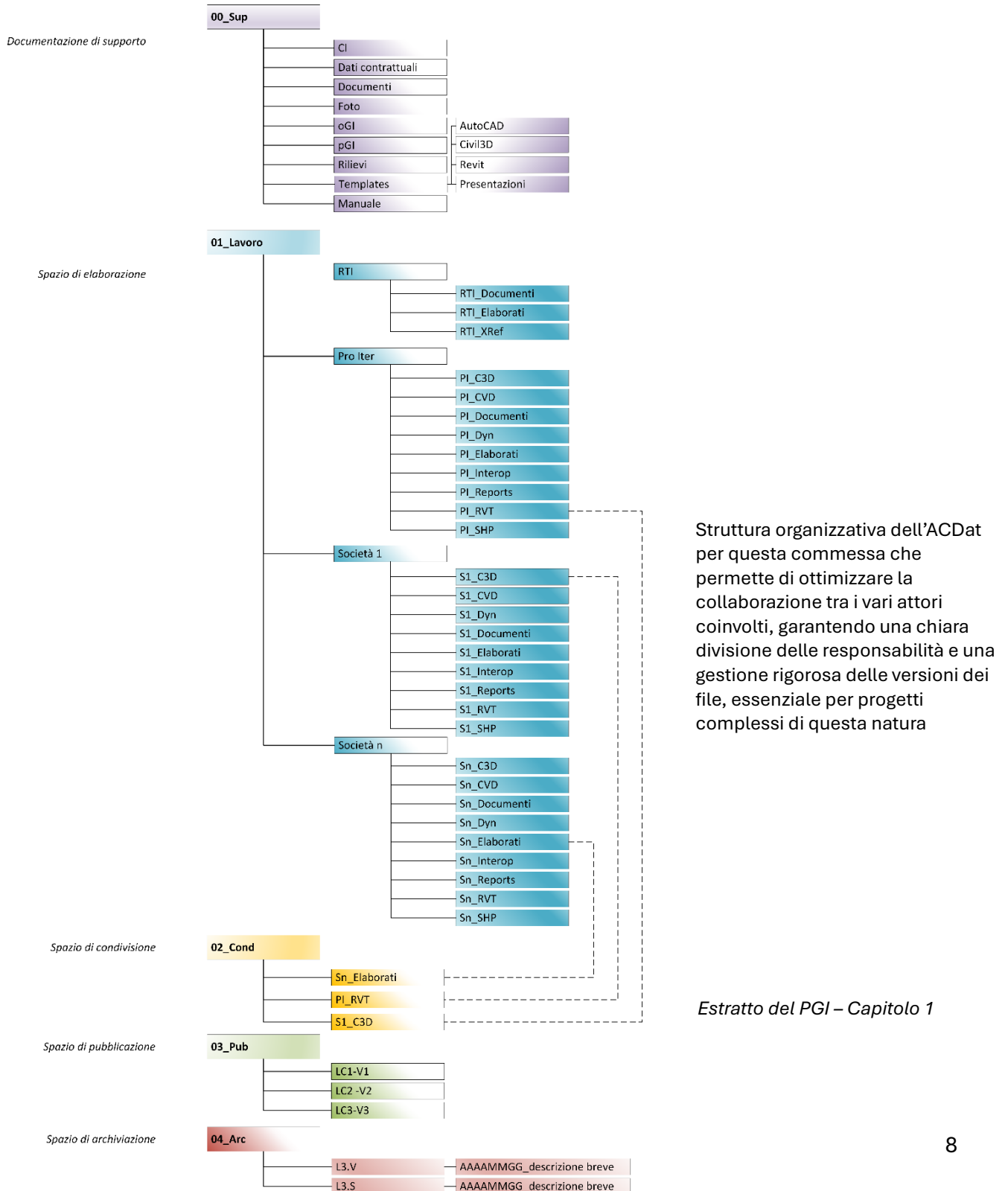


¹ Goito è un comune italiano della provincia di Mantova con una popolazione di circa 10.000 abitanti, nota per il fiume Mincio che la attraversa e per il suo ruolo storico nelle battaglie del Risorgimento

² La fase di PD (progetto definitivo) oggi è inglobata nella fase PE (progetto esecutivo) dal **D.Lgs. 36/2023** (Codice degli Appalti 2023)

2.2 Analisi del Piano di Gestione Informativa (PGI)

Per comprendere in modo approfondito le istruzioni relative alla modellazione di questa importante infrastruttura, il primo passo è sempre una lettura dettagliata del **PGI** (Piano di Gestione dell'Informazione) e dei relativi allegati. Dato che il progetto coinvolge diverse realtà progettuali e team multidisciplinari, il **PGI** ha svolto un ruolo cruciale nel definire la struttura dell'**ACDat**, progettata per garantire un accesso coerente e sicuro alle informazioni a tutti i membri dei team.



L'**ACDat** è stato organizzato in diverse fasi operative, ciascuna delle quali riflette uno stato specifico dei dati del progetto, come la progettazione iniziale, la revisione e la pubblicazione finale. Questa suddivisione consente una gestione efficace del flusso di lavoro, assicurando che i dati siano sempre aggiornati e accessibili ai membri del team in modo controllato, riducendo al minimo il rischio di errori o incoerenze.

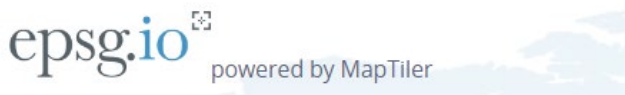
Durante la lettura e l'analisi del PGI, è fondamentale comprendere il sistema di coordinate condivise adottato: in questo caso studio il **Codice EPSG 6707 (fuso 32)**, associato alla **Rete Dinamica Nazionale (RDN)**. Questo sistema di coordinate è un riferimento standard utilizzato per garantire che tutti i modelli e i dati spaziali siano coerenti e accuratamente posizionati in un contesto geografico. Nella gestione di progetti BIM, l'uso di un sistema di coordinate comune è essenziale per garantire che tutti i file generati da diverse discipline e software siano integrabili senza discrepanze nelle posizioni geografiche.

Assicurarsi che vi sia un sistema di coordinate comune a cui si fa riferimento per tutto il progetto fa sì che tutti i modelli possano essere **georeferenziati** e che i successivi processi di modellazione possano risultare geograficamente ottimizzati.

4.5 Sistema comune di coordinate

I modelli verranno sviluppati utilizzando il Codice EPSG 6707 (fuso 32) della "Rete Dinamica Nazionale (RDN)".

Estratto del PGI – Paragrafo 4.5 Capitolo 1



RDN2008 / UTM zone 32N (N-E)

Attributes		Center coordinates
		791324.31 4536753.0
Unit: metre	Scope: Engineering survey, topographic mapping.	Projected bounds:
Geodetic CRS: RDN2008	Remarks: Replaces IGM95 / UTM zone 32N (CRS code 3064) from 2011-11-10. See RDN2008 / UTM zone 32N (CRS code 7791) for similar CRS with east-north axis order used for GIS purposes.	218994.5 3846433.22
Datum: Rete Dinamica Nazionale 2008		1415881.28 5264909.36
Ellipsoid: GRS 1980	Area of use: Italy - onshore and offshore - west of 12°E.	WGS84 bounds:
Prime meridian: Greenwich		5.93 34.76
		18.99 47.1
		Italy - onshore and offshore.

A questo punto, per poter iniziare a modellare, è altresì fondamentale visionare attentamente **l'albero delle WBS** (Work Breakdown Structure) attribuite alla commessa e analizzarne la struttura. Durante tutto il processo di modellazione di questo caso studio, ho fatto costante riferimento alle codifiche della **WBS**, assicurandomi che ogni elemento fosse informatizzato in modo efficiente ed esponendo eventuali dubbi o perplessità al BIM coordinator. Questo meticoloso approccio permette di valutare anche la concreta **coerenza** della WBS inserita ai singoli elementi con le effettive funzioni delle diverse parti nel progetto.

L'aggiornamento continuo delle WBS man mano che le diverse discipline coinvolte avanzavano nel loro lavoro ha rappresentato un potenziale rischio di perdita di coerenza tra i modelli dei team. In un contesto così **multidisciplinare**, infatti, ogni team ha dovuto adattare la propria sezione del modello ai requisiti specifici della WBS aggiornata, il che ha fatto sì che vi fosse un costante coordinamento e riallineamento tra i vari settori. Questo continuo adeguamento informativo dei modelli ha richiesto un impegno ed una collaborazione non da poco da parte dei team: skill che hanno potenziato la coesione interna ed il lavoro di squadra.

1° livello 2° livello 3° livello 4° livello 5° livello 6° livello 7° livello

LOTTO // CODICE OPERA + PROGR // CODICE PARTE D'OPERA + PROGR // ELEMENTO + PROGR

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

P 0 • P V • •

Lotto	Progressivo Lotto	Descrizione
T	0	Tutte le Macro-Opere
P	0	Progetto Asse Principale, carreggiata unica, entrambi le direzioni
S	1, 2, 3, ...	Progetto Viabilità Secondaria. Il progressivo corrisponde al sequenziale della stessa.
V	1, 2, 3, ...	Progetto Svincoli. Il progressivo corrisponde al sequenziale dello stesso.
F	1, 2, 3, ...	Progetto Fabbriati. Il progressivo corrisponde al sequenziale dello stesso.

CODICE AMBITO/OPERA	AMBITO/OPERA	CODICE AMBITO/OPERA	AMBITO/OPERA
GN	Gallerie Naturali	PV	Ponti e Viadotti
ID	Idraulica	SS	Sicurezza e Segnaletica
IM	Impianti		

I valori del livello 3 coincidono con il sequenziale dell'opera (p. es.: 01, 02, 03, ...)

CODICE PARTE D'OPERA	PARTE D'OPERA	CODICE PARTE D'OPERA	PARTE D'OPERA
AC	Arco	MG	Modello Geologico
AN	Antenna	MR	Muri in t.a. e t.r.
AR	Armco	MT	Modellazione Territoriale
AS	Asse Stradale	MT	Movimenti Terra
AS	Attraversamenti Stradali	MU	Muri
BA	Barriere Antirumore	PA	Palancolati
BC	Barriere di Sicurezza in C.A.	PD	Piedritti
BP	Barriere Paramassi	PI	Pile
BS	Barriere di Sicurezza in Acciaio	PL	Policentrica
CI	Canali Idraulici	PM	PMV/Portali Laterali
CJ	Consolidamenti in Jet-Grouting	PO	Policentrica/Circolare
CL	Consolidamento Longitudinale	PR	Parapetti e Reti di Protezione
CT	Consolidamento Trasversale	PR	Paratie
FO	Fondazioni Profonde a Pozzo	RE	Recinzioni
FP	Fondazioni Profonde	RP	Reti Paramassi

Evidenziati in rosso i primi due livelli di WBS che identificano il lotto di appartenenza e l'ambito disciplinare del modello in questione. Come si evince dall'estratto di questo documento, tale albero poi va a "Ramificarsi" per poter codificare ogni tipo di componente presente nei modelli

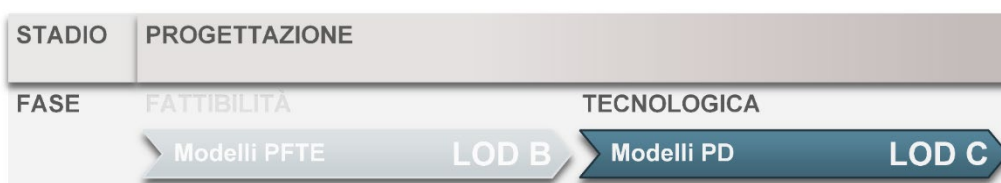
CODICE ELEMENTO	ELEMENTO	CODICE ELEMENTO	ELEMENTO
AEL	Apparecchiature Elettromeccaniche	LAM	Lampada
ANC	Ancoraggi	LMC	Lama, Montanti e Corrente
ANI	Anelli di irrigidimento	LMP	Lampeggiante
ARG	Arginello	LPI	Lampione
ASS	Asse	MAN	Muro Andatore
BAB	Barre d'armatura Baggioli	MFR	Muro Frontale
BAC	Barre d'armatura Cordolo di Testa	MON	Montanti
BAD	Barre d'armatura Diaframmi	MSS	Muri di Sostegno, Sottoscarpa, Controripa
BAE	Base	MTT	Muri in t.a. e muri in t.r.
BAF	Barre d'armatura Fondazione	MUS	Manto d'Usura
BAG	Baggioli	NJE	New Jersey
BAI	Barre d'armatura Anelli di irrigidimento	OCA	Opere in C.A.
BAM	Barre d'armatura Muro Andatore	PAN	Pannello Antirumore
BAN	Barriere Antirumore	PAR	Paraghiaia
BAP	Barre d'armatura Pulvini	PAV	Pavimentazione
BAS	Barre d'armatura Soletta	PBA	Piastra di Base
BAZ	Barre d'armatura Pozzi	PCO	Pioli Connettori
BCS	Barre d'armatura Cassoni in C.A./C.A.P.	PEN	Pendini
BFC	Bonifiche fuori dal corpo stradale	PMD	Pali, Micropali e Diaframmi
BIN	Binder	PMI	Pali e Micropali
BLF	Barre d'armatura Soletta Flottante	POM	Pompe
BMF	Barre d'armatura Muro Frontale	POZ	Pozzi
BMR	Barre/Maglie di Rinforzo	PRE	Predalles
BMS	Barre d'armatura Muri di Sostegno, Sottoscarpa, Controripa	PRP	Parapetti e Reti di Protezione
BOC	Barre d'armatura Opere in C.A.	PUL	Pulvini
BPD	Barre d'armatura Pali, Micropali e Diaframmi	PUN	Puntoni

Estratto dell'albero delle WBS in allegato al PGI

Avendo acquisito tutti gli strumenti necessari per avviare il processo di modellazione, ho verificato il **livello di dettaglio (LOD)** richiesto per questa fase di progetto, assicurandomi di operare in conformità con le indicazioni della **norma UNI 11337-4:2017**. In questo caso, essendo in fase definitiva, il livello formale di dettaglio richiesto è il **LOD C**.

1.4 Obiettivi strategici dei modelli informativi

I modelli informativi soddisfaranno i requisiti di cui all'art. 23 del D. Lgs. 50/2016, e quelli di cui al DPR 207/2010, inerenti ai diversi livelli di approfondimento progettuale, relativi alla Progettazione Definitiva. I modelli corrisponderanno ad un livello di dettaglio geometrico e informativo equivalente al LOIN C, secondo la Norma UNI 11337:2017, per il tracciato selezionato. LOIN più elevati verranno utilizzati per la rappresentazione di oggetti che richiedano un livello di dettaglio maggiore. I modelli utilizzati nella progettazione sono ottimizzati per gli utilizzi di visualizzazione e presentazione.

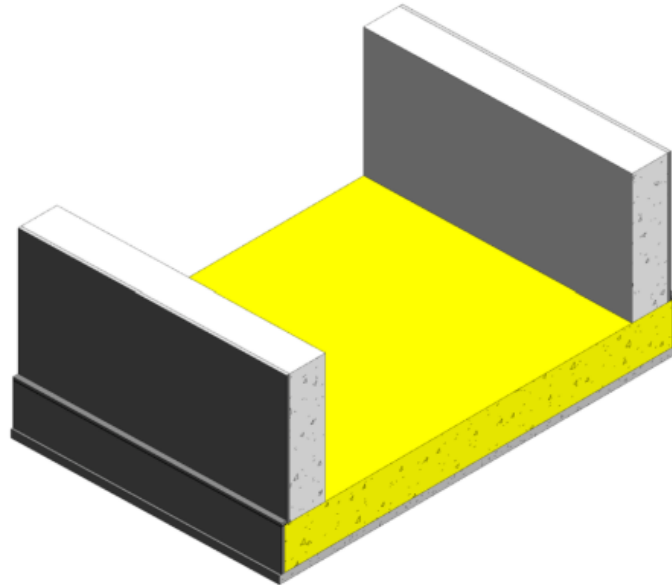


Estratto del PGI – Paragrafo 1.4 Capitolo 1

Va tenuto conto però che, soprattutto per la modellazione di grandi opere, l'uso di semplici LOD spesso non fornisce una chiarezza sufficiente sulle informazioni specifiche richieste ai fini della modellazione geometrica e informativa. Per affrontare questa limitazione, infatti, durante lo sviluppo dei modelli nel corso dei

mesi, la stazione appaltante in questione ci ha fornito le schede **LOIN** degli oggetti in progettazione in cui sono stati definiti in modo puntuale le informazioni necessarie da attribuire ai relativi elementi dei modelli in funzione delle varie fasi progettuali. Considerando che, come già accennato in introduzione, essendo la fase di PD (progetto definitivo) formalmente inglobata nella fase PE (progetto esecutivo) dal **D.Lgs. 36/2023** (Codice degli Appalti 2023), la fase attuale a cui far riferimento per la modellazione geometrico-informativa da LOIN degli elementi di questo modello diventa la **fase esecutiva (PE)**.

INFORMAZIONI GEOMETRICHE



Oggetti:	Geometria:	Caratteristiche:	FASE
Solido 3D	Ingombro 3D	Quote di progetto; Volume; Spessori; Quantità;	PE
come PE	Ingombro 3D	Materiali; Fase installazione; ---	PED
come PED	Aggiornamento ingombro 3D in base al rilevato	Verifiche geometriche e aggiornamento con il realizzato	AS BUILT

DOCUMENTAZIONE

Tipo di documento	PE	PED	AS BUILT
Relazione di calcolo	✓	✓	✓
Schede materiali		✓	✓
Piano di manutenzione			✓
Verbale di collaudo			✓

INFORMAZIONI ALFANUMERICHE

Parametro	PSET Group	Type	Esempio	PE	PED	AS BUILT
Componente	IFC_CODIFICA	Text	ID del tipo di componente	✓	✓	✓
ComponenteDescrizione	IFC_CODIFICA	Text	Descrizione ID_Componente	✓	✓	✓
Consegna	IFC_CODIFICA	Text	Parte a cui appartiene l'Opera (Parte A, Parte B)	✓	✓	✓
Disciplina	IFC_CODIFICA	Text	Come definita nell'EE	✓	✓	✓
Fase	IFC_CODIFICA	Text	Indica la fase costruttiva dell'oggetto (Permanente, Temporanea, Demolizione, Esistente)	✓	✓	✓
GUID	IFC_CODIFICA	Text	Codice alfanumerico identificativo dell'oggetto	✓	✓	✓
ID_Cronoprogramma	IFC_CODIFICA	Text	Concatena WBS7.WBS8.WBSOperaMinore.WBS9 (NA per valori non disponibili)	✓	✓	✓
WBS8Descrizione	IFC_CODIFICA	Text	Descrizione del Tratto d'Opera (WBS8)	✓	✓	✓
Tipo	IFC_CODIFICA	Text	Tipologico di appartenenza oggetto (es. Diaframma Tipo1, Tipo2...)		✓	✓
WBS7	IFC_CODIFICA	Text	WBS Livello 7 (Opera Principale)	✓	✓	✓
WBS8	IFC_CODIFICA	Text	WBS Livello 8 dell'Opera (WBS7+Tratto d'Opera)	✓	✓	✓
WBSOperaMinore	IFC_CODIFICA	Text	WBS Opera Minore	✓	✓	✓
WBS9	IFC_CODIFICA	Text	WBS Livello 9 (Parte d'Opera)	✓	✓	✓
ID	IFC_CODIFICA	Text	Concatena "Componente" + progressivo	✓	✓	✓

CasseriArea	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Area casseforme		✓	✓
CasseriDescrizione	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Descrizione del tipo di cassero		✓	✓
ClasseAcciaio	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Classe di resistenza del materiale		✓	✓
ClasseConsistenza	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Classe di consistenza / Lavorabilità cls		✓	✓
ClasseEsposizione	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Classe di esposizione cls		✓	✓
ClasseResistenza	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Classe di resistenza del materiale		✓	✓
Copriferro	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Copriferro netto		✓	✓
Incidenza	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Percentuale incidenza armature (nominale o effettiva, ricavata da peso armature)		✓	✓
E	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Modulo elastico		✓	✓
DmaxAggregato	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Diametro massimo aggregato		✓	✓
Ra/c	IFC_DISCIPLINA STR	Text	Rapporto acqua/cemento		✓	✓
CodiceTariffa	IFC_ECONOMICO	Text	Indica la voce di costo da computo estimativo		✓	✓
PKFine	IFC_ESECUZIONE	Text	PK Fine intervento (o lavorazione)		✓	✓
PKInizio	IFC_ESECUZIONE	Text	PK Inizio intervento (o lavorazione)		✓	✓
Tracciato	IFC_ESECUZIONE	Text	Binario di riferimento della lavorazione (BP, BD, ecc.)		✓	✓
Area	IFC_GEOMETRIA	Text	Area oggetto	✓	✓	✓
Spessore	IFC_GEOMETRIA	Text	Spessore per setti o piastre	✓	✓	✓
Larghezza	IFC_GEOMETRIA	Text	Larghezza oggetto	✓	✓	✓
Lunghezza	IFC_GEOMETRIA	Text	Lunghezza elemento	✓	✓	✓
TipoGeometria	IFC_GEOMETRIA	Text	Tipogeometria elemento	✓	✓	✓
Volume	IFC_GEOMETRIA	Text	Volume elemento	✓	✓	✓
MaterialeDescrizione	IFC_MATERIALE	Text	Descrizione dettagliata del materiale (es.: Calcestruzzo Magro C12/15, Spritz Fibrorinforzato, ecc.)		✓	✓
MaterialeNome	IFC_MATERIALE	Text	Nome del materiale (es.: Acciaio, Calcestruzzo, ecc.)		✓	✓

Esempio di una scheda LOIN “**LO18**” relativa all’elemento “Platea di fondazione” delle spalle del viadotto. Come si evince, vengono fornite tutte le informazioni identificative e geometriche di cui vi si necessita in funzione delle varie fasi progettuali

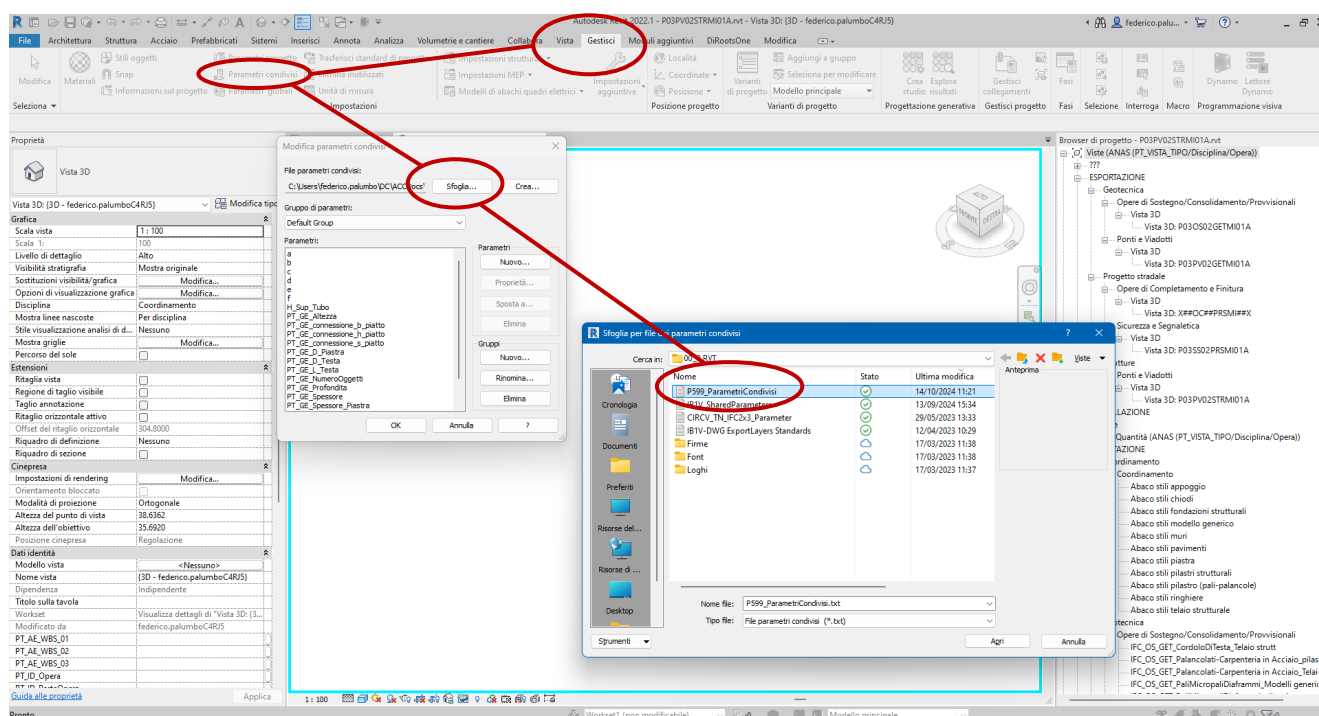
Prima di poter avviare il processo di modellazione, infine, ho consultato e mantenuto costantemente aperto **l'elenco EBS** (Element Breakdown Structure) in allegato al PGI: una struttura gerarchica che suddivide il modello in elementi più piccoli e gestibili contestualizzati a seconda dell'ambito disciplinare e della parte d'opera corrisposta. Questa classificazione, spesso sottovalutata per le commesse di piccola-media entità, risulta importante per i grandi progetti, in quanto facilita la gestione, la pianificazione e il controllo del progetto, permettendo di monitorare ogni componente in modo dettagliato e garantendo che ogni elemento del modello riceva le informazioni corrette e coerenti con gli standard richiesti.

DISCIPLINA SPECIALISTICA	OPERA	PARTE D'OPERA	ELEMENTO	CLASSE IFC	CODICE LOIN DI RIFERIMENTO	AUTORE	SOFTWARE
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	L012	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	L025	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	L018	Pro Iter	Revit 2022

Un breve estratto del documento Excel contenente l'intera struttura della **EBS**; qui illustrati (opportunamente filtrati per Parte d'opera) vi sono alcuni elementi che caratterizzano le spalle del viadotto. In rosso la categoria relativa alla platea di fondazione delle spalle, in continuità di riferimento alla precedente scheda LOIN illustrata

2.3 Modellazione informativa e geometrica

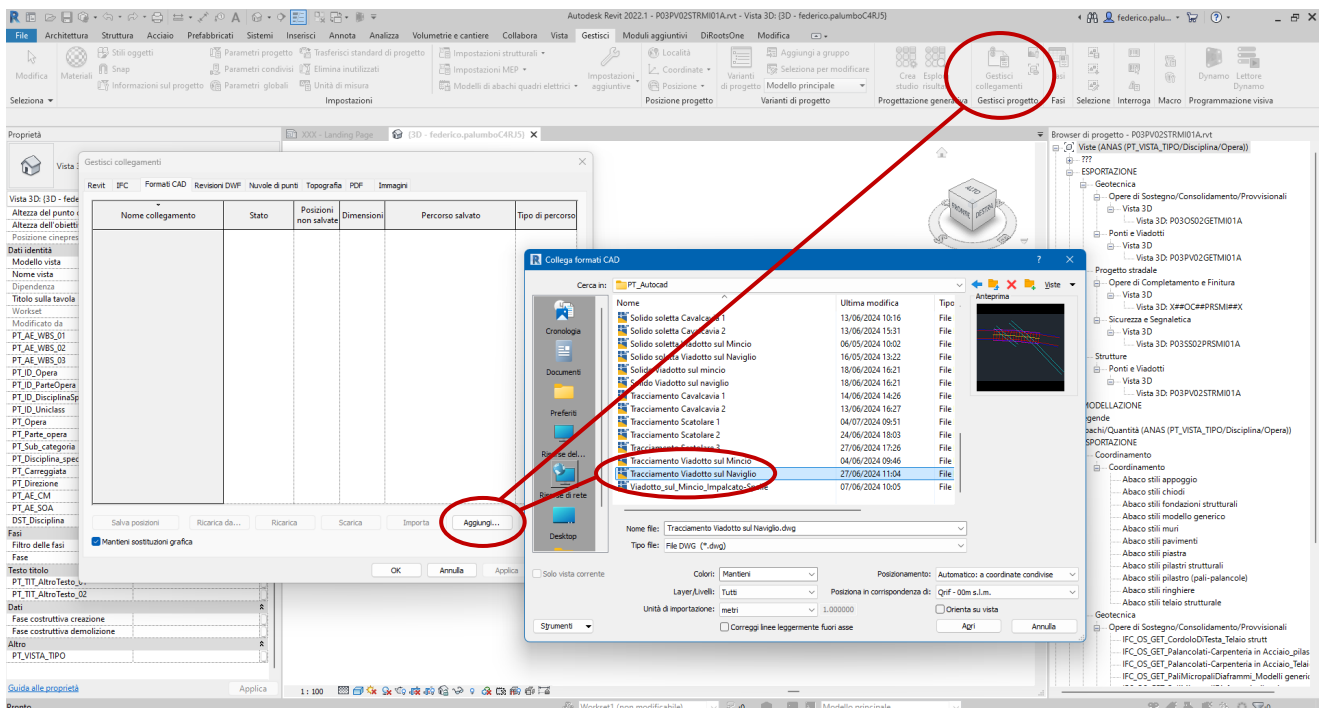
Durante il processo di modellazione, come abitualmente faccio, ho lavorato con il modello dati Excel contenente le **schede LOIN** relative ai singoli elementi aperto, in modo che la modellazione geometrica vada di pari passo con quella informativa. Il primo step di questa fase, come precedentemente accennato, è stato importare il file di testo dei parametri condivisi, definiti tra il committente e l'azienda nel PGI, nel modello. Attraverso questo passaggio è stato possibile **attribuire i parametri agli elementi** man mano che venivano modellati, assicurando che ogni componente rispettasse gli standard informativi richiesti. Questo approccio permette di gestire contemporaneamente sia le caratteristiche geometriche degli elementi sia le informazioni alfanumeriche che ne descrivono le proprietà tecniche, materiali, e altre specifiche richieste. Grazie ai parametri condivisi, definiti dalla stazione appaltante, ogni elemento del modello può ricevere le informazioni necessarie in modo coerente e uniforme, evitando la duplicazione e le incoerenze dei dati.



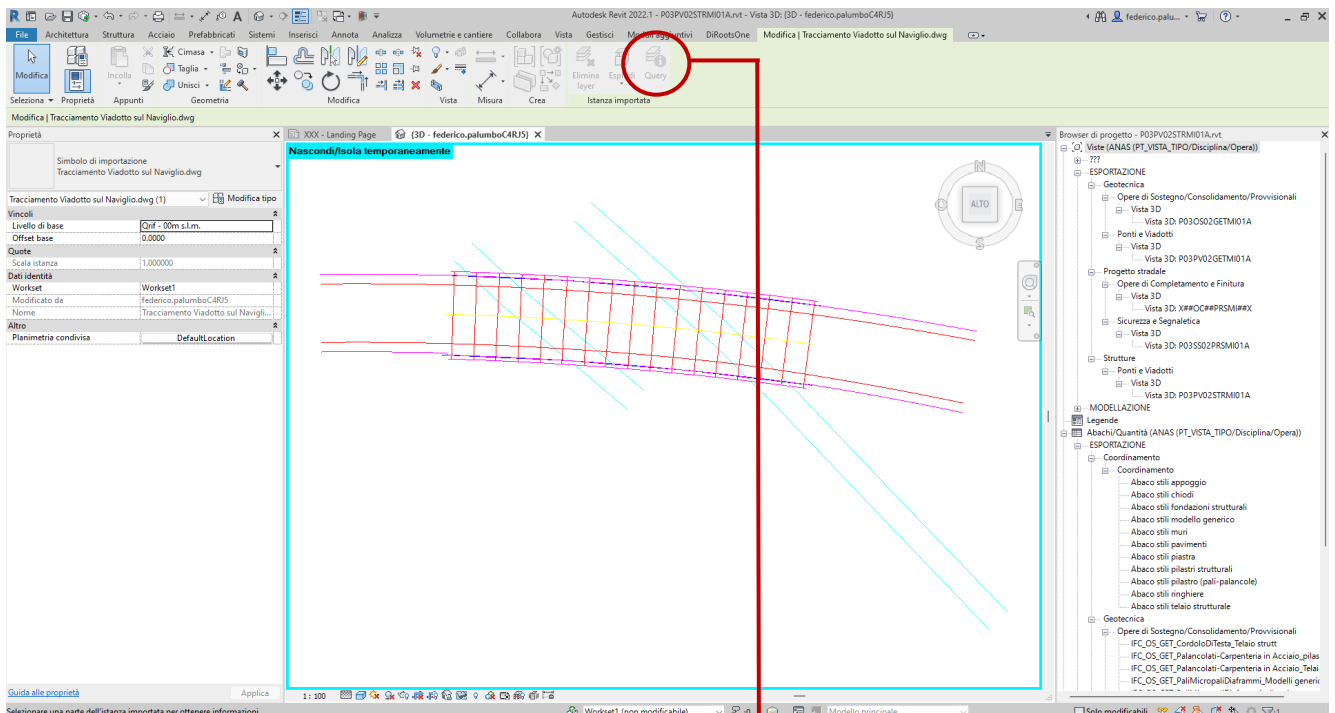
Configurazione dei parametri condivisi per il modello BIM: importazione del file di testo contenente i parametri standardizzati, che verranno associati agli elementi del modello per garantire coerenza informativa e conformità agli standard di progetto definiti nel Piano di Gestione Informativa (PGI)

- *Inserimento del tracciamento DWG come riferimento*

Per garantire una modellazione accurata e precisa, ho inserito nel modello Revit (utilizzando le coordinate condivise) il **tracciamento stradale** in formato DWG sviluppato dal team di progettazione stradale su Civil3D. Questa integrazione ha fornito una base di riferimento fondamentale, che mi ha permesso di posizionare correttamente tutti gli elementi strutturali del progetto, mantenendo una corrispondenza rigorosa con le specifiche di progetto. Il tracciamento stradale funge quindi da guida per assicurare che gli allineamenti, le pendenze e gli ingombri siano conformi ai requisiti tecnici e alle normative vigenti, riducendo il margine di errore e migliorando la coerenza geometrica del modello. Questo passaggio è cruciale per evitare discrepanze tra il modello BIM e il layout stradale reale, garantendo così una continuità tra il progetto digitale e le condizioni operative effettive.



Collegamento del tracciamento in DWG su Revit. Questa procedura consente di importare il tracciamento all'interno del modello BIM, garantendo il corretto posizionamento del file tramite il sistema di coordinate condivise, per un allineamento preciso con gli elementi già modellati



Informazioni istanza importata

Parametro	Valore
Tipo	Linea
Nome blocco	N/D
Layer/Livello	C-DX-i
Stile da	Layer/Livello

Layer/Livello

Elimina Nascondi nella vista OK

Informazioni istanza importata

Parametro	Valore
Tipo	Linea
Nome blocco	N/D
Layer/Livello	Asse
Stile da	Layer/Livello

Layer/Livello

Elimina Nascondi nella vista OK

Informazioni istanza importata

Parametro	Valore
Tipo	Linea
Nome blocco	N/D
Layer/Livello	TRAVERSI
Stile da	Layer/Livello

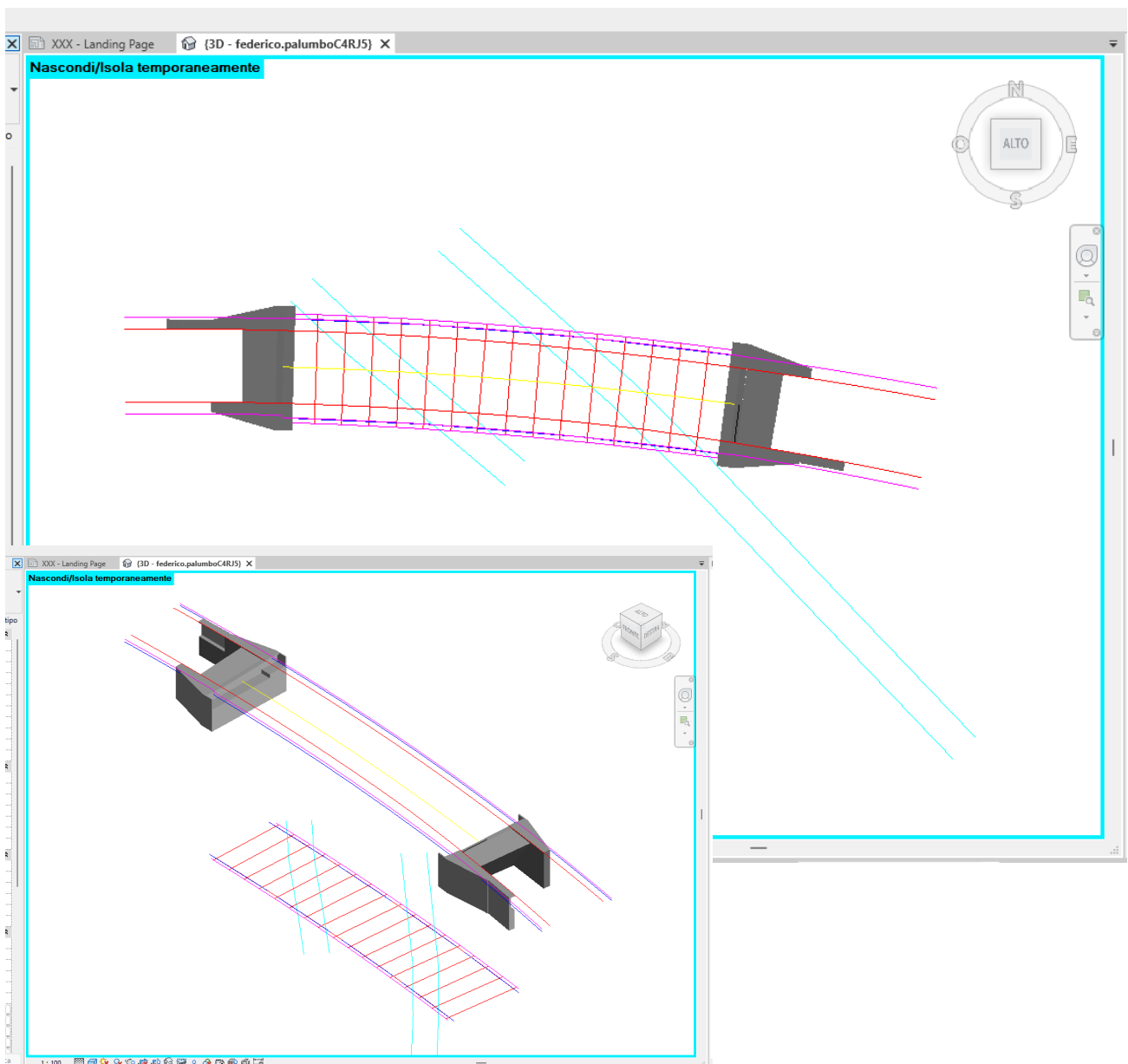
Layer/Livello

Elimina Nascondi nella vista OK

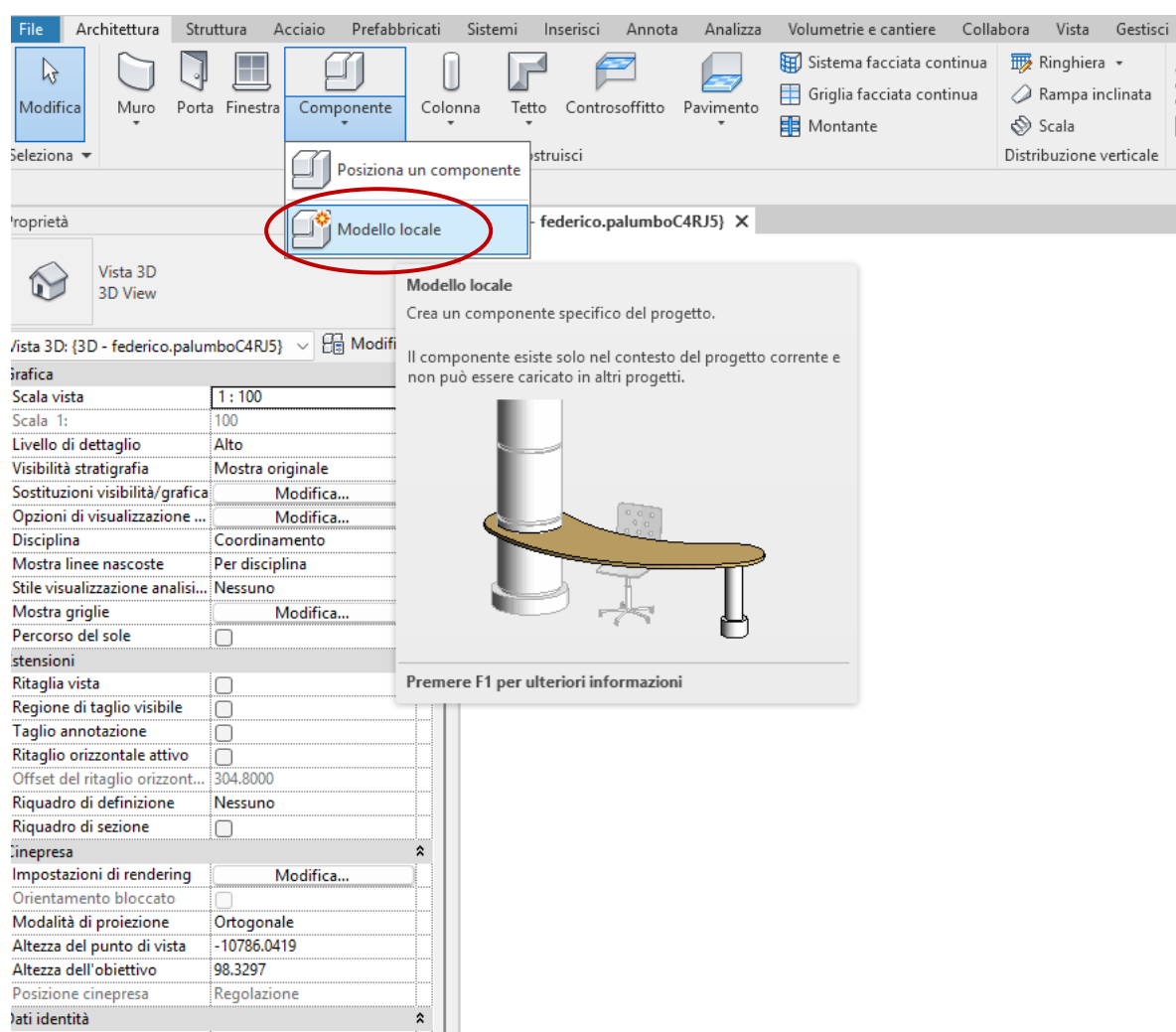
Lo strumento "Query" all'interno mi consente di selezionare le singole linee del file dwg. Attraverso questo strumento, posso identificare ogni elemento in base al **layer originale impostato in Civil3D**. Questa funzione è particolarmente utile per comprendere la funzione specifica di ciascuna linea all'interno del tracciamento, permettendo un maggiore controllo e accuratezza nell'interpretazione e allineamento degli elementi del dwg all'interno del modello BIM

- *Modellazione degli elementi strutturali del viadotto*

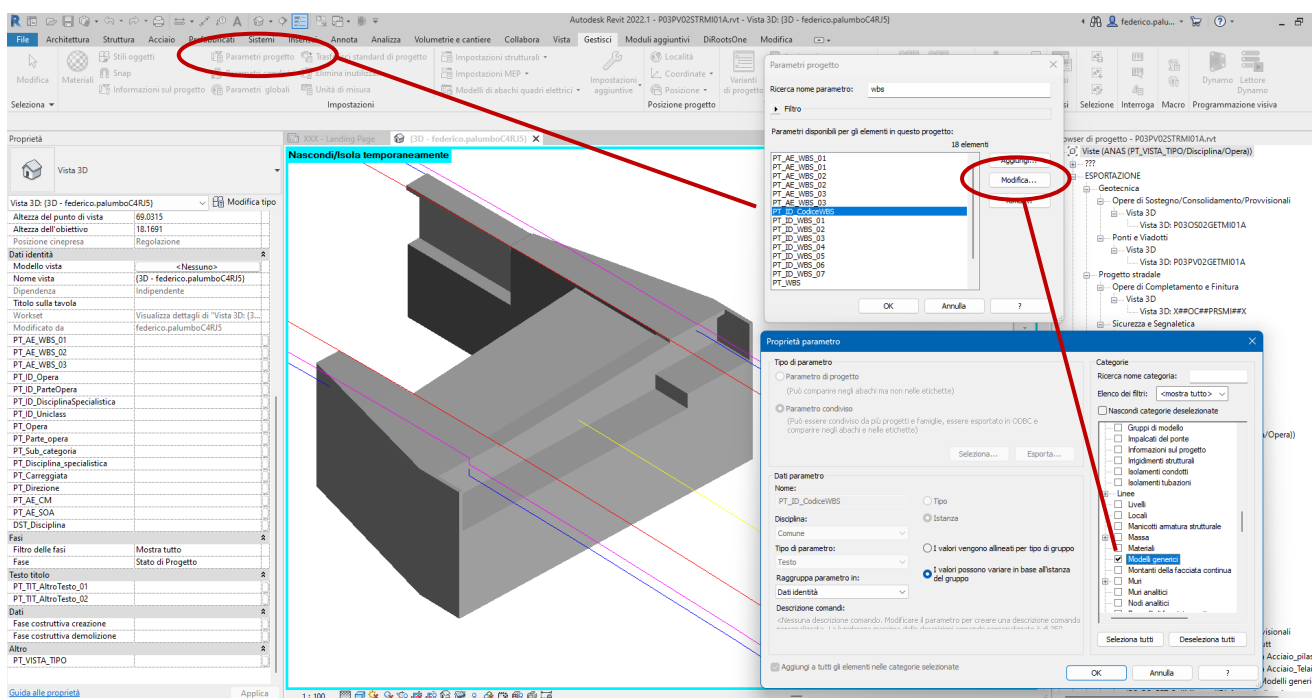
Successivamente, ho proseguito con la modellazione delle **spalle**, ovvero le strutture fondamentali che sostengono e stabilizzano le estremità del viadotto. Questi elementi strutturali rivestono un'importanza cruciale nel garantire la stabilità e la sicurezza dell'intera infrastruttura, e pertanto la loro modellazione ha richiesto un'attenzione particolare sia dal punto di vista geometrico che informativo. In questa fase ho lavorato in stretta collaborazione con il team di ingegneri strutturalisti per garantire un corretto dimensionamento di quest'ultime, effettuando continue revisioni per assicurarne la conformità alle specifiche strutturali e progettuali. Oltre alla modellazione geometrica, ho poi attribuito e compilato tutti i parametri informativi di tipo identificativo necessari.



La strategia di modellazione ottimale adottata per questi elementi caratterizzati da una forma complessa e ben specifica è stata lo sviluppo sotto forma di “*Componente locale*”: un approccio che mi ha consentito di elaborare queste strutture univocamente per questo progetto, non essendoci la necessità di riutilizzo per altre commesse.



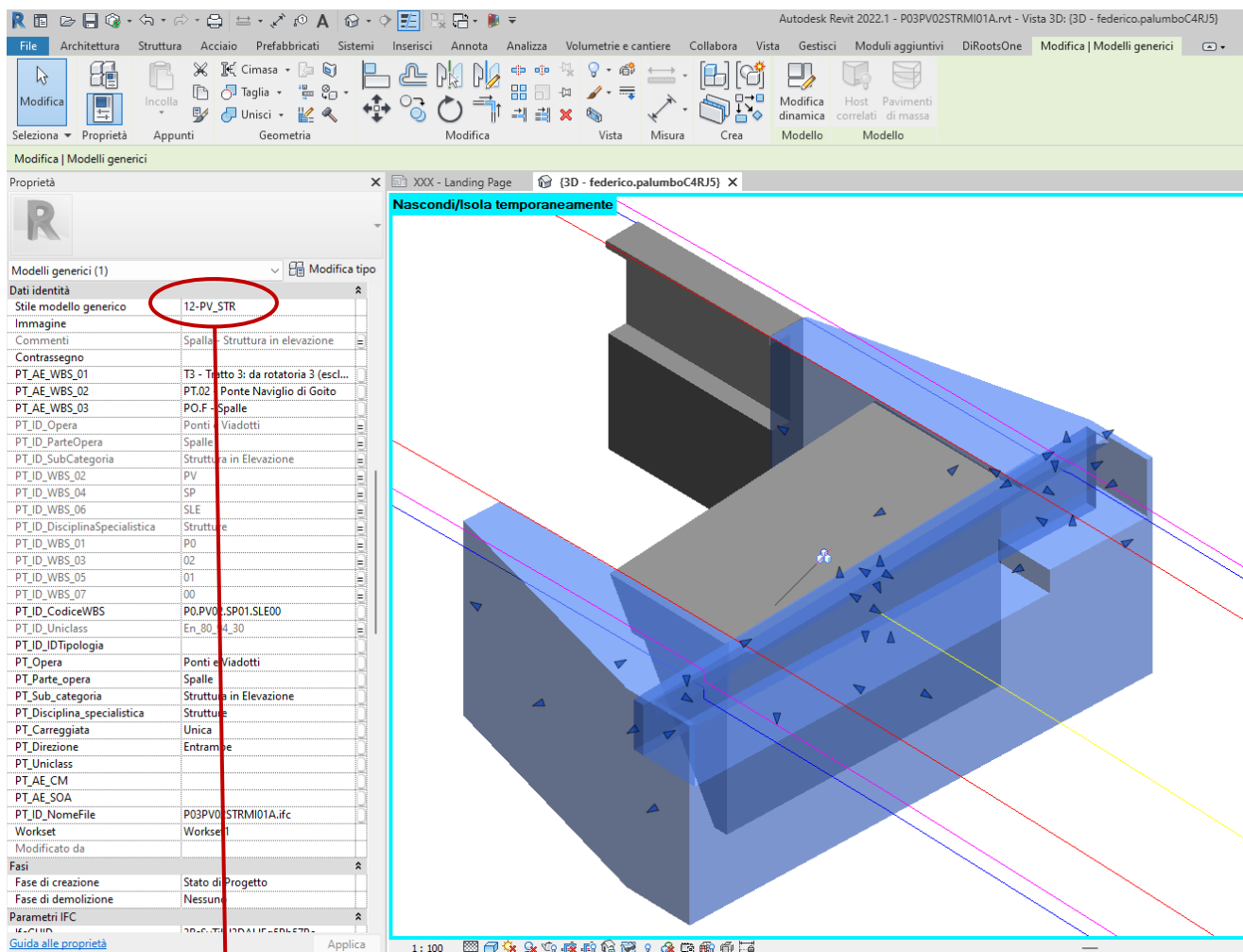
Successivamente alla modellazione geometrica delle spalle, ho proceduto all'attribuzione ed alla relativa compilazione dei parametri necessari per esse, cercando all'interno dell'opportuna scheda **LOIN**.



Attribuzione dei parametri identificativi necessari da LOIN alle categorie modellate e successiva compilazione: in questo caso illustrato si tratta delle spalle (modelli generici)

I parametri identificativi degli elementi modellati, come illustrato nell'immagine che segue, sono stati compilati con l'utilizzo di uno **stile** attribuitogli dagli **abachi chiave**: creati appositamente per la compilazione automatica dei parametri ripetitivi con l'obiettivo di risparmiare tempo e limitare il rischio di errori.

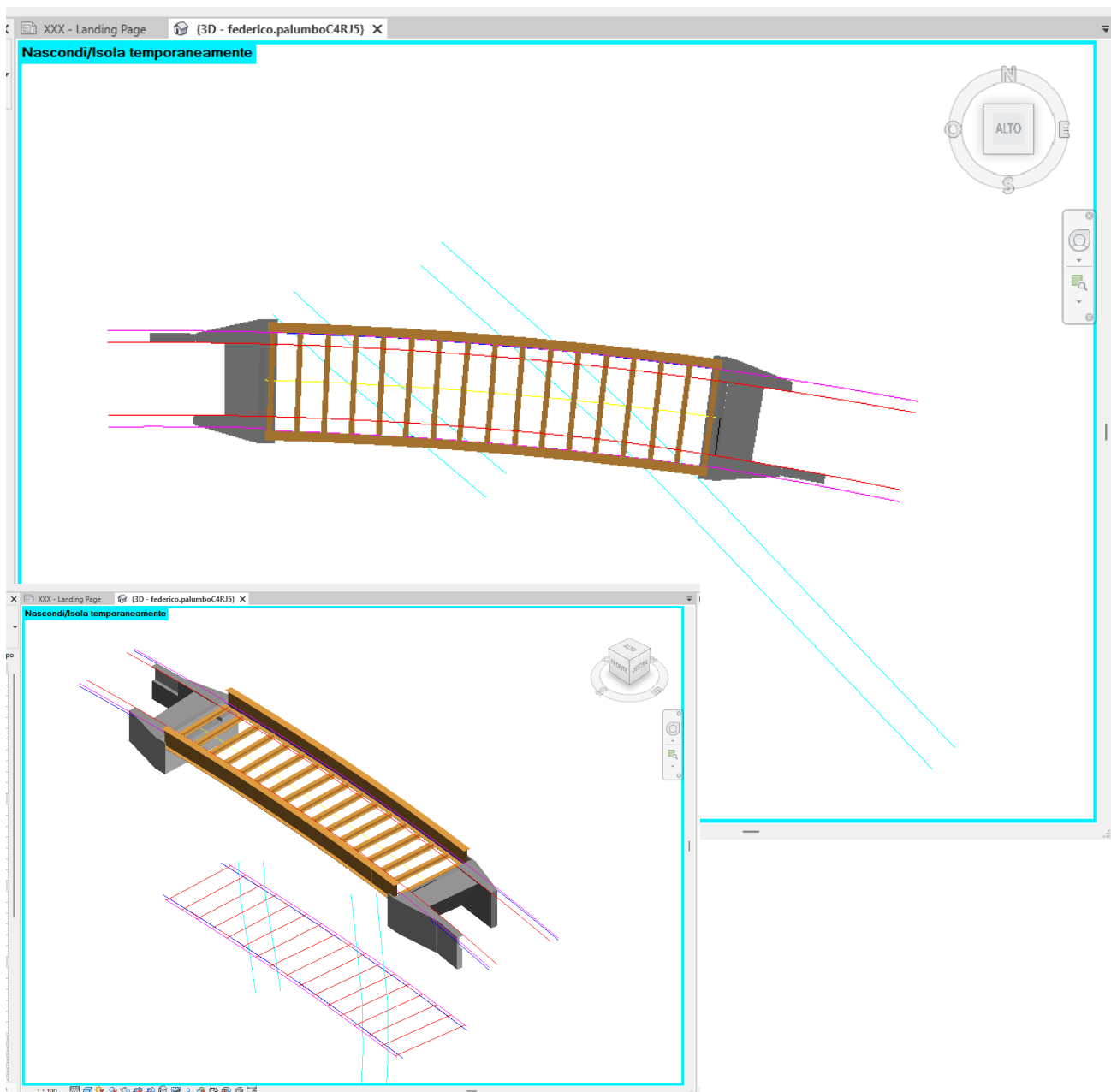
In questo caso, alle spalle strutturali del viadotto sono state assegnate uno stile specifico, denominato "12 - PV STR". Questo stile contiene un set di parametri chiave che, una volta attribuito all'elemento, attiva la compilazione automatica dei relativi dati di identità nel modello. Grazie all'utilizzo degli abachi chiave, il sistema riconosce automaticamente lo stile assegnato e compila i campi informativi associati. Questa automazione non solo riduce drasticamente il tempo necessario per la compilazione manuale dei dati, ma minimizza anche il rischio di errori e incongruenze tra gli elementi. Il risultato è un flusso di lavoro ottimizzato che consente ai progettisti di risparmiare tempo. L'adozione di questi **abachi chiave** rappresenta un significativo passo avanti nella gestione dei dati all'interno del modello, rendendo il processo più agile ed accurato. In un progetto complesso, in cui la quantità di elementi e parametri può essere elevata, questa soluzione contribuisce a mantenere alti standard di qualità e a migliorare l'efficienza complessiva del flusso di lavoro.



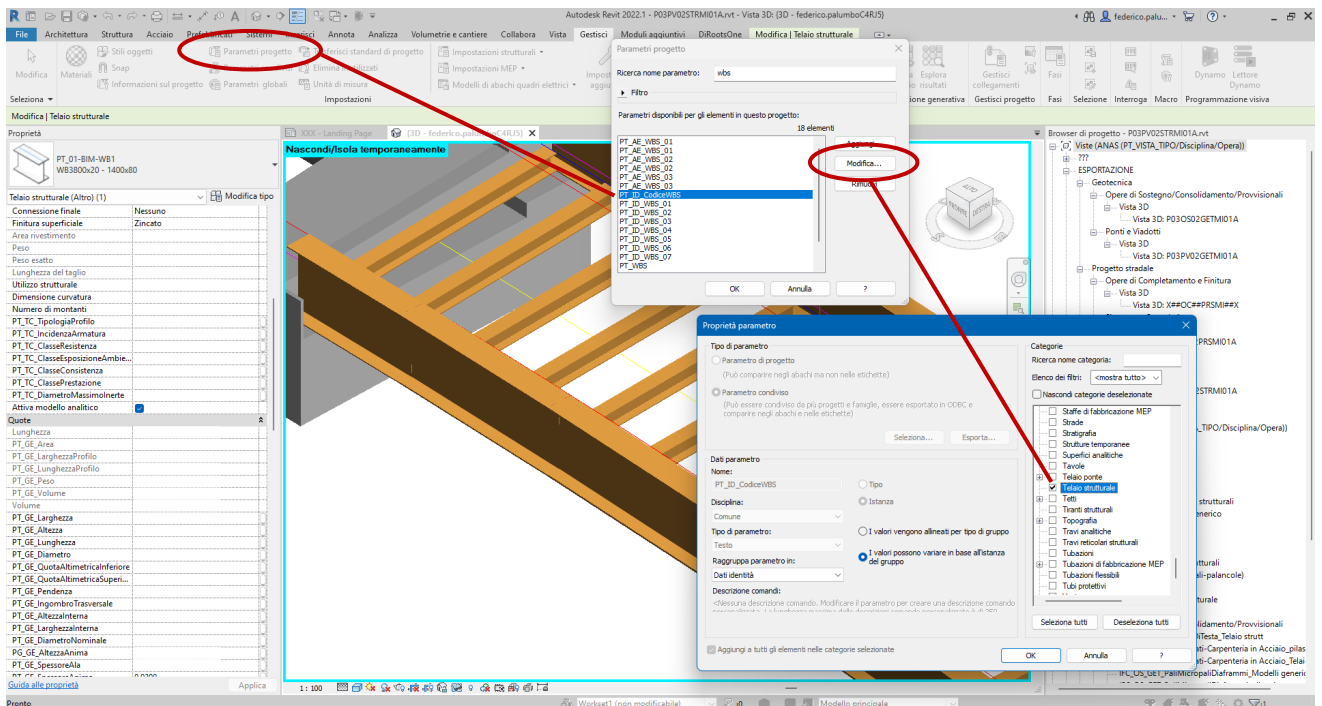
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nome chiave	PT_ID_Opera	PT_ID_ParteOpera	PT_ID_SubCategoria	PT_ID_DisciplinaSpe	PT_ID_	PT_ID_W	PT_ID_W	PT_ID_W	PT_ID_W	PT_ID_WBS	PT_ID_W
01-GA_OIS	Galleria Artificiale	Policentrica	Opere in C.A.	Opere in sotterraneo							
02-GA_OIS	Galleria Artificiale	Scatolare	Opere in C.A.	Opere in sotterraneo							
03-GN_OIS	Galleria Naturale	Policentrica/Circolare	Opere in C.A.	Opere in sotterraneo							
04_OS_GET	Opere di Sostegno/Consoli	Paratie	Pali, Micropali e Diaframmi	Geotecnica	P0	OS	01	PR	01	PMD	00
05-PV_GET	Ponti e Viadotti	Fondazioni Profonde	Pali, Micropali e Diaframmi	Geotecnica	P0	PV	02	FP	01	PMD	00
06-PV_GET	Ponti e Viadotti	Fondazioni Superficiali	Plinti e Zattere di Fondazione	Geotecnica	P0	PV	02	FS	01	PZF	00
07-PV_STR	Ponti e Viadotti	Impalcato in Acciaio	Soletta in C.A.	Strutture	P0	PV	02	IA	01	SCA	00
08-PV_STR	Ponti e Viadotti	Pile	Baggioli	Strutture	P0	PV	02	PI	01	BAG	00
09-PV_STR	Ponti e Viadotti	Pile	Isolatori Sismici/Apparecchi di	Strutture	P0	PV	02	PI	01	ISA	00
10-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	Strutture	P0	PV	02	SP	01	BAG	00
11-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Isolatori Sismici/Apparecchi di	Strutture	P0	PV	02	SP	01	ISA	00
12-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Struttura in Elevazione	Strutture	P0	PV	02	SP	01	SLE	00
13-PV_GET	Ponti e Viadotti	Spalle	Riempimento	Geotecnica	P0	PV	02	SP	01	RIE	00
14-SS_PRS	Sicurezza e Segnaletica	Barriere di Sicurezza in	Lama e Montanti	Progetto stradale	P0	SS	02	BS	01	LMN	00
15-PV_STD	Ponti e Viadotti	Impalcato in Acciaio	Manto d'Usura	Progetto stradale	P0	PV	02	IA	01	MUS	00
16-PV_STD	Ponti e Viadotti	Impalcato in Acciaio	Binder	Progetto stradale	P0	PV	02	IA	01	BIN	00
17-PV_STR	Ponti e Viadotti	Impalcato in Acciaio	Predalles	Progetto stradale	P0	PV	02	IA	01	PRE	00

Attribuzione di uno "Stile" dalle proprietà della categoria modelalta: codifica chiave che automatizza l'inserimento dei parametri, riducendo drasticamente il tempo necessario per la compilazione manuale dei parametri

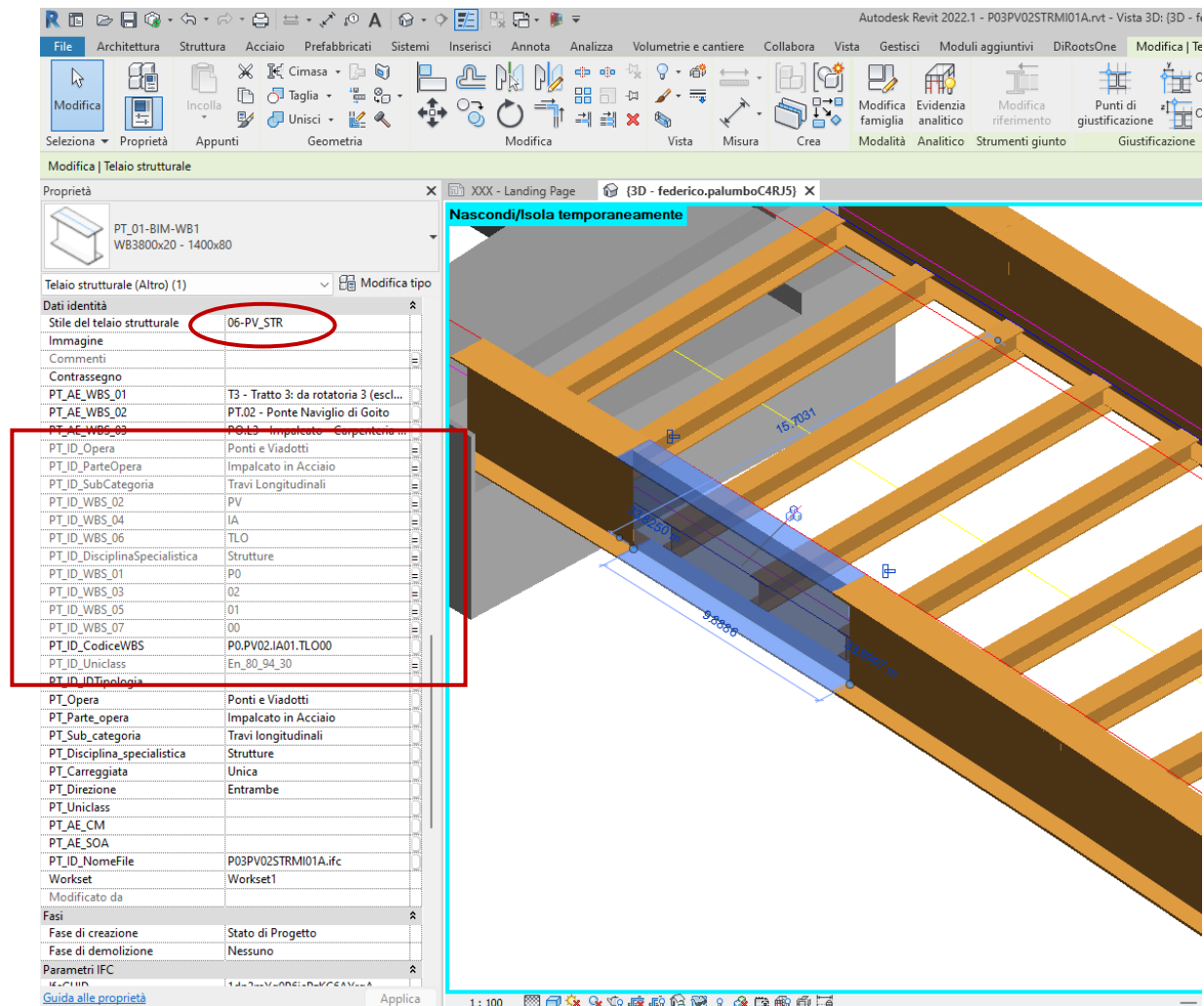
Insieme alle spalle poi, ho anche modellato **travi** e **traversi**, sviluppando però per quest'ultime famiglie locali specifiche, caratterizzate da parametri che ne governano le dimensioni geometriche di ognuna. Questi elementi rappresentano le componenti principali della struttura portante del viadotto e hanno necessitato di una modellazione accurata per supportare il peso della soletta e degli altri carichi sovrastanti. Per tale, anche in questo caso la collaborazione con il team degli ingegneri **strutturisti** e dei progettisti **stradali** si è rivelata essenziale per il corretto **dimensionamento** e **posizionamento** di questi componenti. Questo approccio collaborativo ha assicurato che ogni elemento del modello fosse collocato coerentemente al tracciamento dwg e conforme alle linee guida strutturali.



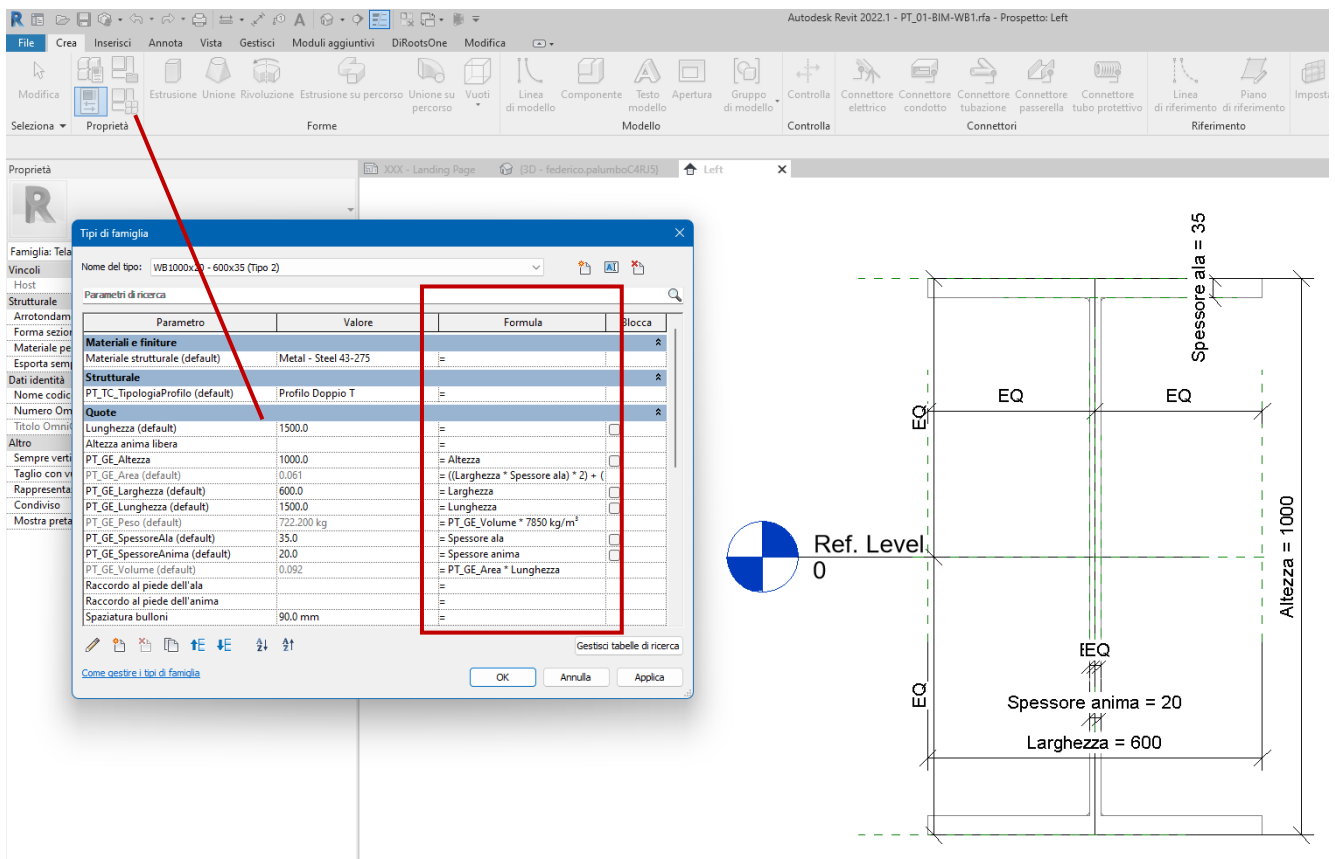
Modellati e posizionati **travi** e **traversi**, come per le spalle, ho proceduto ad attribuire loro i parametri necessari da PGI in funzione della categoria di cui fanno parte ed alla loro compilazione. Anche in questo caso, per automatizzare il processo ed evirare errori, i parametri identificativi sono stati compilati con l'utilizzo di uno **stile** attribuitogli dal rispettivo **abaco chiave**.



Attribuzione dei parametri identificativi necessari da PGI alle categorie modellate e successiva compilazione: in questo caso illustrato si tratta di travi e traversi (telaio strutturale)



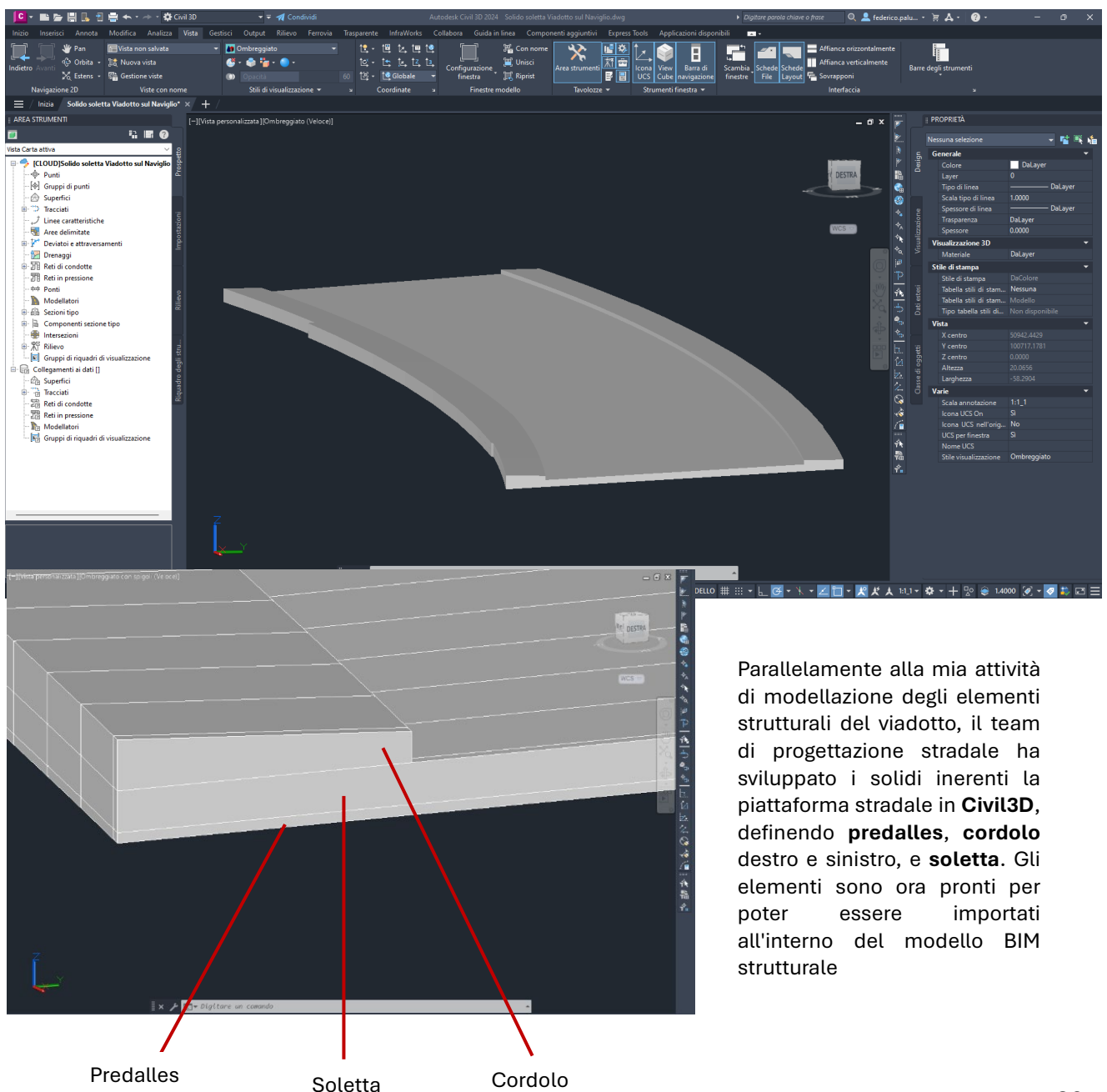
Per quanto riguarda invece la compilazione dei parametri geometrici di **travi** e **traversi**, ho adottato un approccio strategico per ottimizzare il processo di modellazione informativa: anziché inserire manualmente i valori dei parametri per ogni istanza dall'interfaccia di modello, ho **attribuito** i parametri geometrici condivisi necessari per travi e traversi direttamente all'interno della famiglia, **compilandoli** con l'utilizzo di **formule** matematiche specifiche e **uguagliandoli** con i parametri geometrici intrinseci di famiglia. Questa strategia mi permette di automatizzare il calcolo delle dimensioni e delle proprietà dell'elemento, garantendo precisione e velocizzando il processo di modellazione informativa. Grazie a questa impostazione, ogni volta che veniva modificato o aggiornato il dimensionamento di un traverso o di una trave, i parametri geometrici venivano calcolati e assegnati automaticamente, assicurando coerenza con le esigenze progettuali e velocizzando il processo di lavoro.



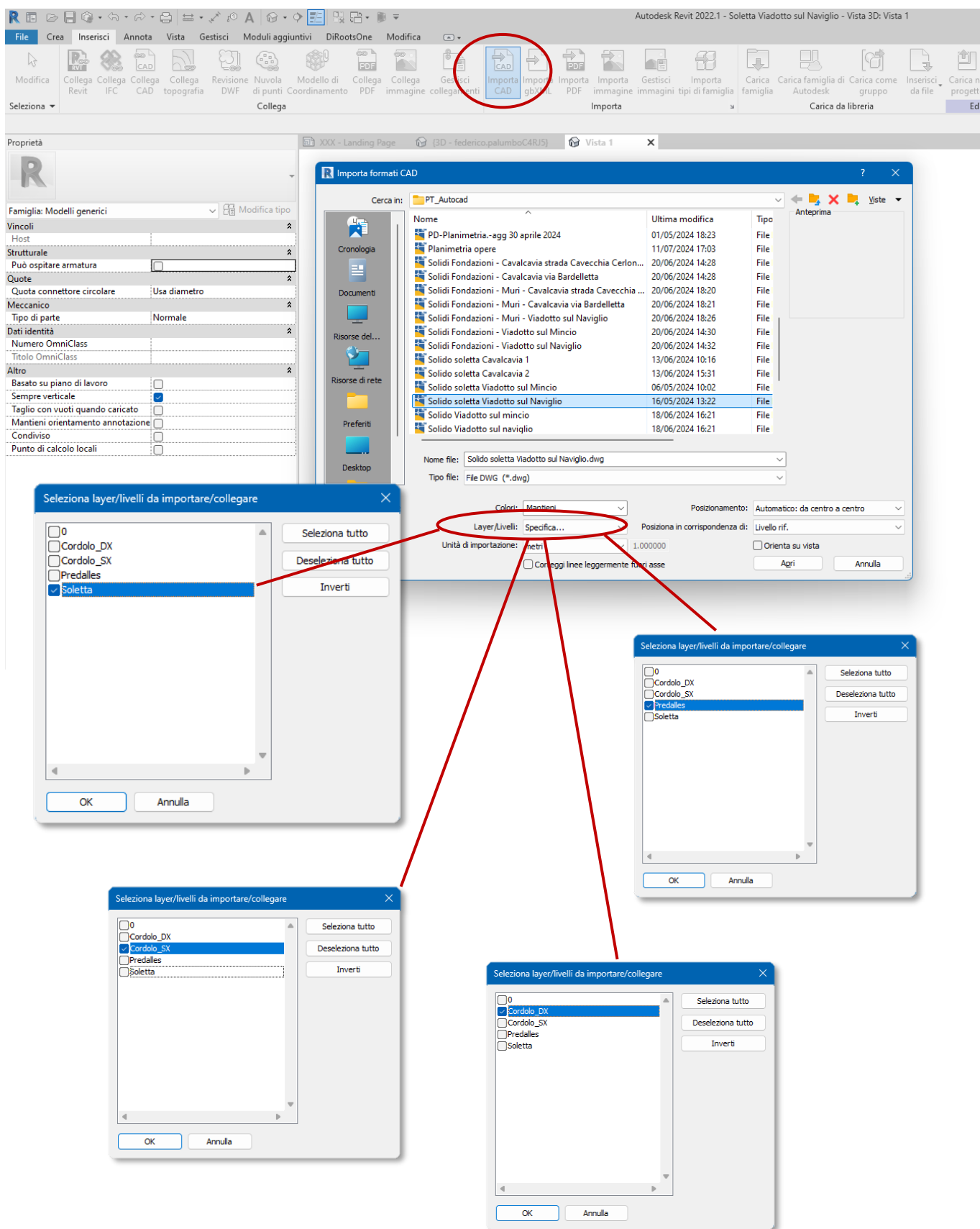
Il menù "Proprietà" all'interno dell'interfaccia di famiglia in cui ho potuto attribuire i parametri geometrici condivisi necessari all'elemento trave e compilarli con l'utilizzo di formule e uguaglianze con i parametri di famiglia

- *Modellazione degli elementi strutturali della piattaforma stradale*

Modellati i primi elementi strutturali dell'opera, necessitavo a questo punto di predisporre degli oggetti strutturali della piattaforma stradale. In questa fase quindi, per ottenere un livello di dettaglio elevato, ho creato delle famiglie locali specifiche per la **soletta**, le **predalles** e i **cordoli** stradali, partendo dal solido dwg sviluppato dal team di progettazione stradale mediante il software Autodesk **Civil3D**. La creazione di famiglie locali specifiche partendo dall'importazione in Revit dei singoli elementi stradali in dwg ha permesso di modellare queste parti con una precisione elevata, assicurando che le caratteristiche geometriche rispettassero le specifiche progettuali. Questa operazione ha dimostrato quanto fosse importante l'interoperabilità nel BIM, riducendo i tempi di modellazione e facilitando il controllo qualitativo.

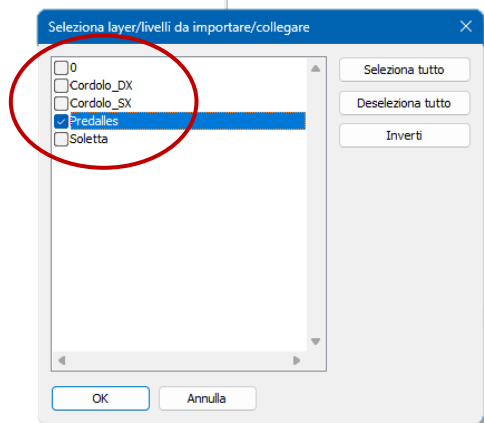
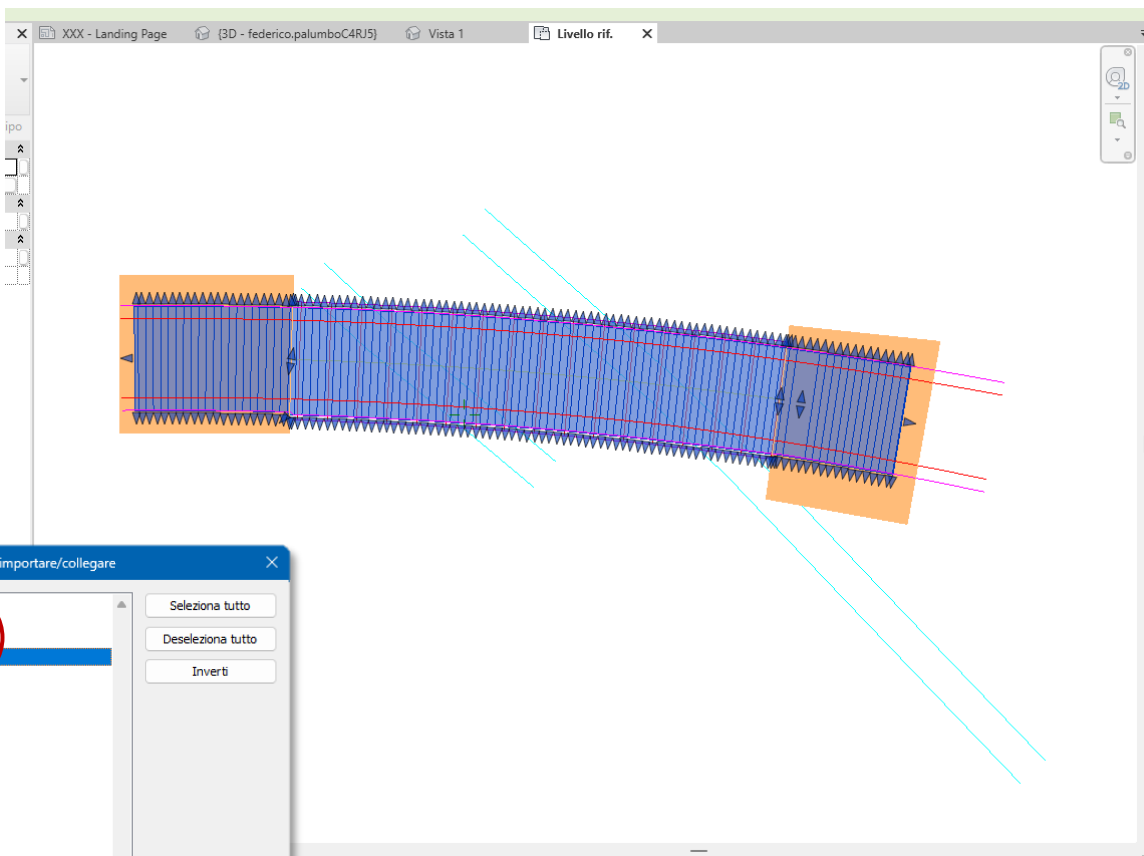
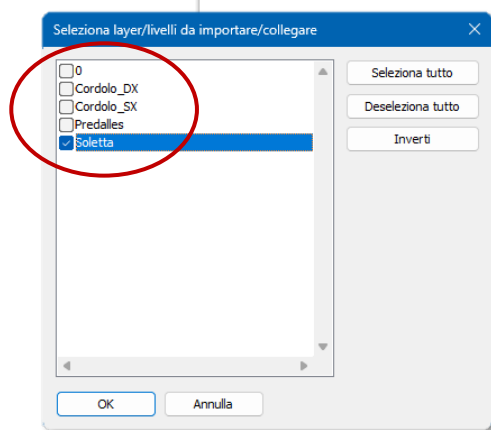
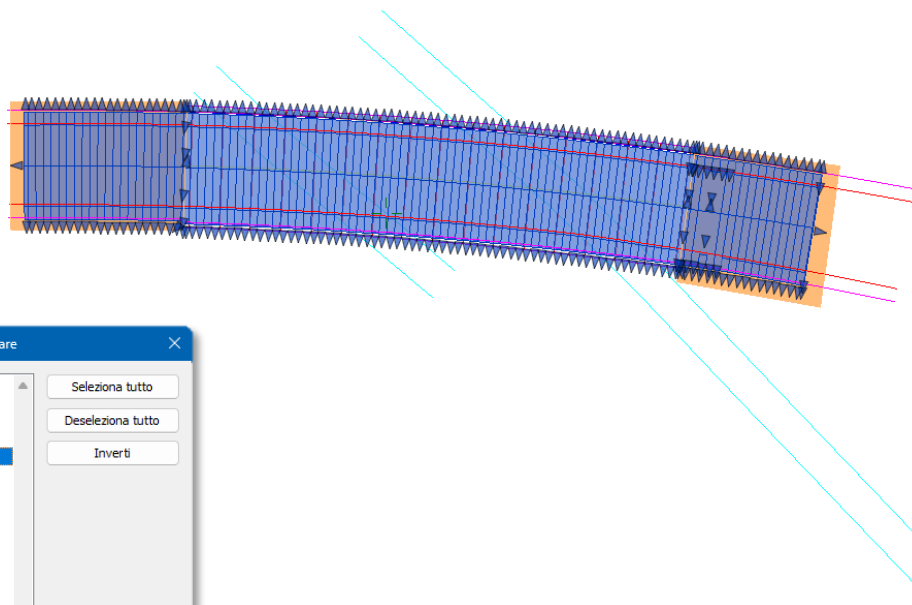


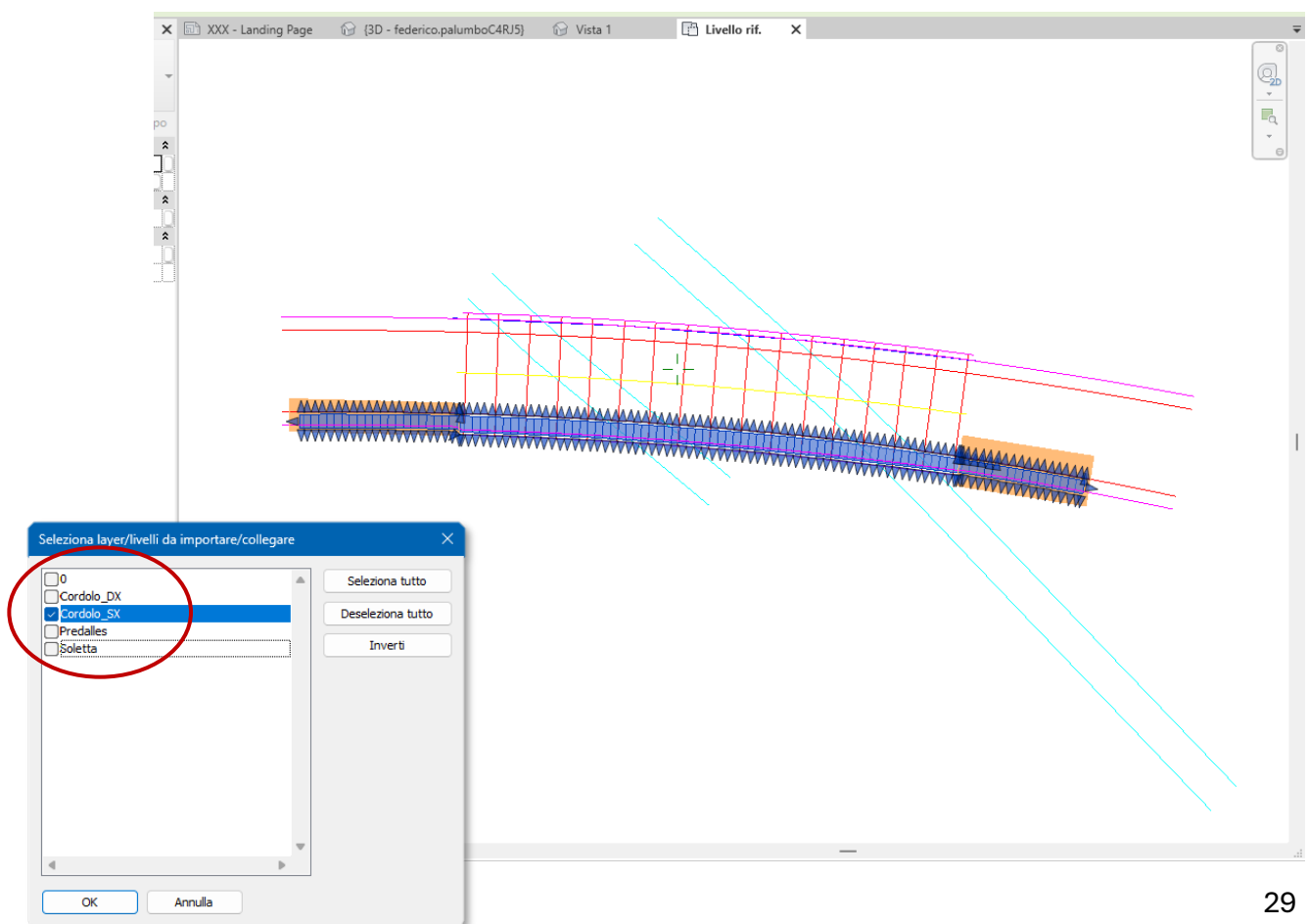
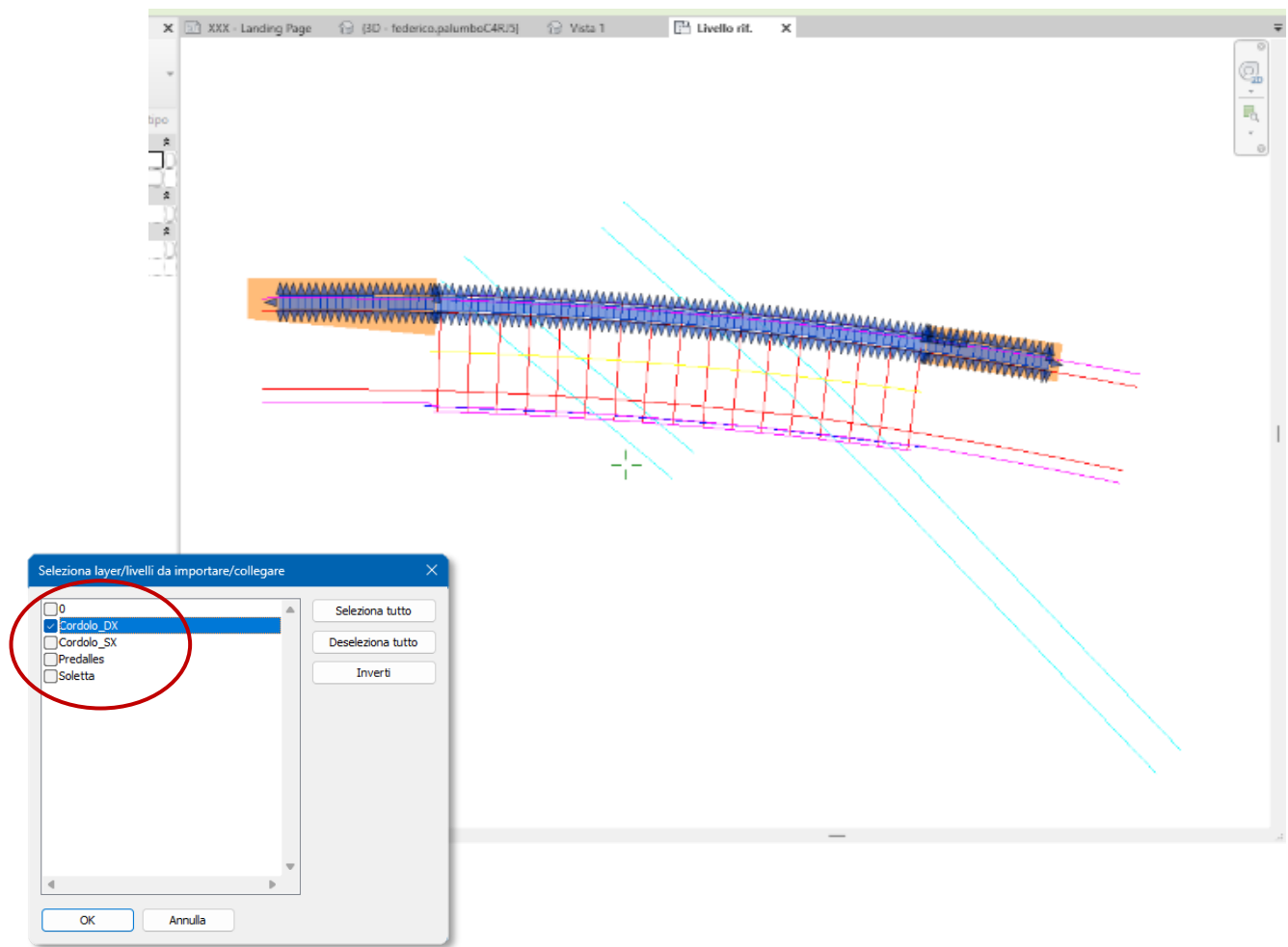
Parallelamente alla mia attività di modellazione degli elementi strutturali del viadotto, il team di progettazione stradale ha sviluppato i solidi inerenti la piattaforma stradale in **Civil3D**, definendo **predalles**, **cordolo** destro e sinistro, e **soletta**. Gli elementi sono ora pronti per poter essere importati all'interno del modello BIM strutturale



Ad ogni importazione del file dwg contenente la piattaforma stradale in blocco, ho specificato con precisione il tipo di layer da considerare, in modo che a ogni "Famiglia" corrispondesse un elemento specifico con le relative proprietà informative

Essendo la piattaforma stradale un corpo che in questo progetto non si limita alla sola luce del viadotto ma prosegue ben oltre le due spalle dello stesso, per “Ricavare” la sola mia parte di tracciato in questo modello, ho creato, all’interno dell’interfaccia di “Famiglia” dei rispettivi elementi (soletta, cordoli e predalles), dei “Vuoti di sottrazione” che mi tagliassero in modo rigoroso il corpo stradale in prossimità esatta delle relative spalle





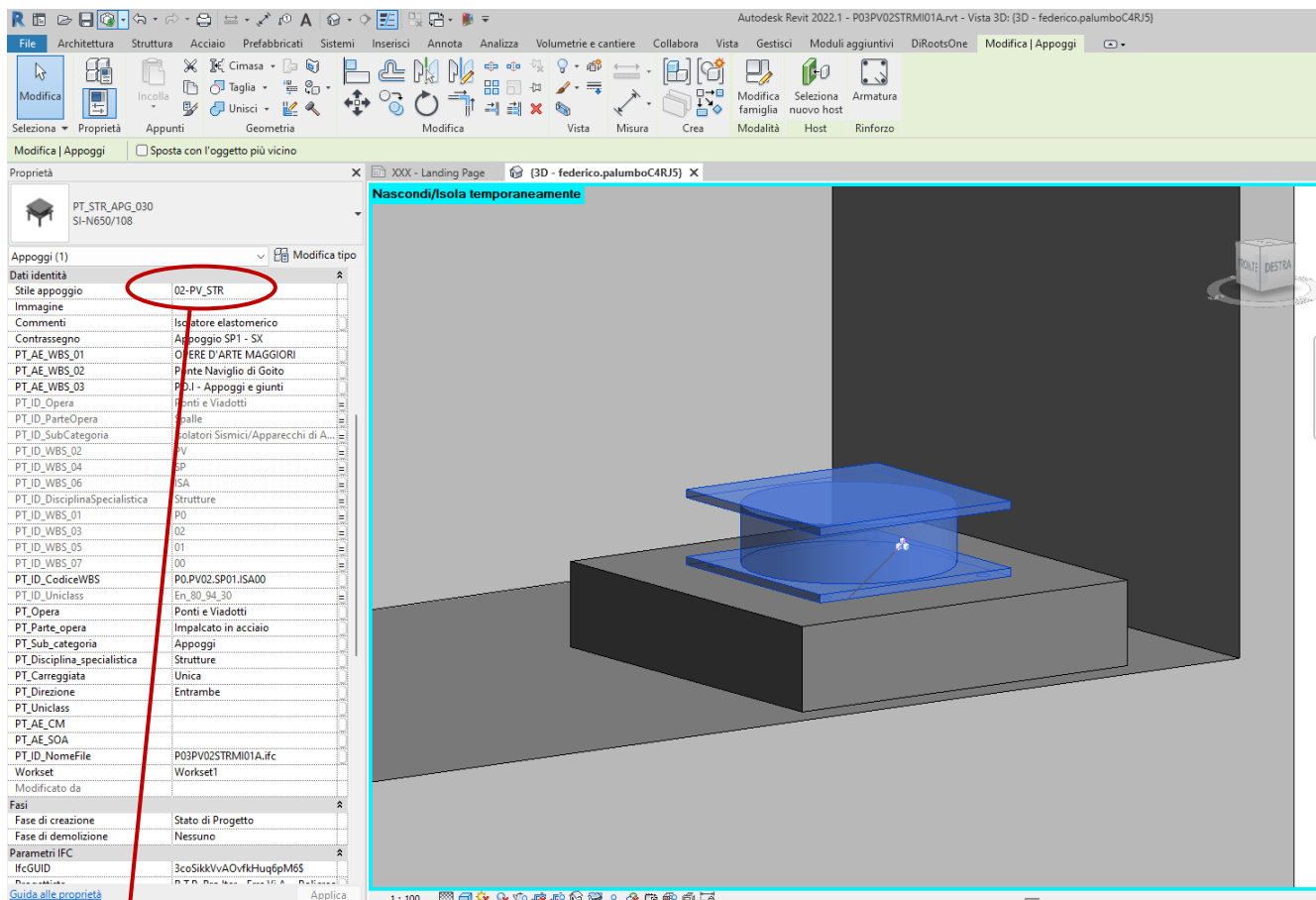
- **Modellazione degli elementi strutturali di dettaglio**

Per la modellazione degli elementi strutturali di dettaglio (**baggioli**, **appoggi**, **cunei** di compensazione e **GPE**) diversamente da quanto fatto per i precedenti elementi, ho avuto modo di importare tali oggetti direttamente dalla libreria BIM .rfa comune dell'azienda. Questo processo mi ha permesso di ottimizzare l'attività di modellazione riducendo di gran lunga i tempi in quanto, l'unico step successivo sarebbe stato esclusivamente l'attribuzione e la compilazione dei parametri geometrici agli stessi. I parametri identificativi invece, come per i precedenti elementi strutturali modellati, sono stati compilati con l'utilizzo di uno **stile** attribuitogli dagli **abachi chiave**: in questo caso, ai baggioli è stato assegnato uno stile specifico, denominato "10 - PV_STR".

The screenshot shows the Autodesk Revit 2022.1 interface. The left pane displays the properties of a structural element named 'PT-03-BIM-01-Baggiolo'. The 'Dati identità' (Identity Data) section is expanded, showing the 'Stile modello generico' (Generic model style) set to '10-PV_STR'. A red circle highlights this style name, and a red arrow points from it to the table below. The right pane shows a 3D model of a bridge pier structure.

09-PV_STR	Ponti e Viadotti	Pile	Isolatori Sismici/Apparecchi di	Strutture	P0	PV	02	PI	01	ISA	00
10-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	Strutture	P0	PV	02	SP	01	BAG	00
11-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Isolatori Sismici/Apparecchi di	Strutture	P0	PV	02	SP	01	ISA	00
12-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Struttura in Elevazione	Strutture	P0	PV	02	SP	01	SLE	00
13-PV_GET	Ponti e Viadotti	Spalle	Riempimento	Geotecnica	P0	PV	02	SP	01	RIE	00

Modellazione geometrica del baggiolo e relativa compilazione dei parametri geometrici che ne governano la dimensione effettiva. La compilazione dei dati identificativi, come per i precedenti elementi, è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno stile attribuitogli da un abaco chiave per ottimizzare il processo di lavoro e ridurre il rischio di errori.

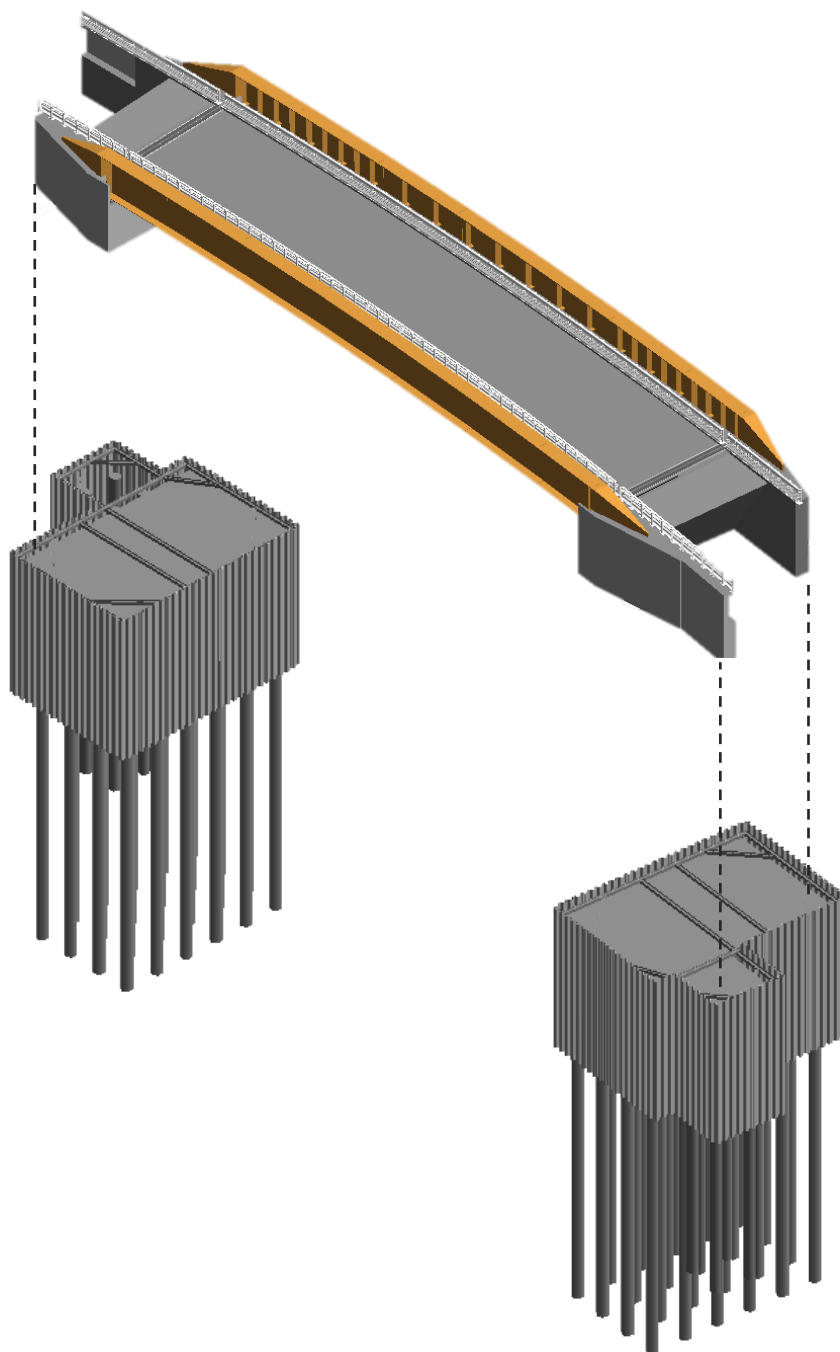


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Nome chiave	PT_ID_Opera	PT_ID_Parte	PT_ID_SubCateg	PT_ID_Disciplina	PT_ID_Uniclass	PT_ID_WBS	PT_ID_W	PT_ID_W	PT_ID_WB	PT_ID_WBS	PT_ID_WBS	PT_ID_WB
01-PV_STR	Ponti e Viadotti	Pile	Isolatori Sismici/Ap	Strutture	En_80_94_30	P0	PV	02	PI	01	ISA	00
02-PV_STR	Ponti e Viadotti	Spalle	Isolatori Sismici/Ap	Strutture	En_80_94_30	P0	PV	02	SP	01	ISA	00

Modellazione geometrica di un appoggio e relativa compilazione automatica dei parametri identificativi mediante l'utilizzo di uno stile attribuitogli dai rispettivi abachi chiave

- *Contributo del team di progettazione geotecnica*

Infine, è importante sottolineare il contributo del **team di geotecnica**, che ha modellato la parte geotecnica del progetto, includendo tutti gli elementi necessari per una valutazione accurata delle condizioni del terreno e delle fondazioni del viadotto. Il team ha fornito un modello dettagliato che si integra perfettamente con il resto della struttura, garantendo un quadro completo e coerente delle condizioni geotecniche del sito. La collaborazione tra il team di geotecnica e il resto del gruppo di lavoro è stata fondamentale per assicurare che tutte le informazioni fossero allineate e coerenti con le esigenze del progetto.



Il processo di modellazione descritto si è basato su una serie di **step**, ognuno dei quali ha contribuito a garantire che il modello finale fosse completo, preciso e pienamente informativo. Dall'integrazione dei parametri condivisi alla creazione di famiglie specifiche, ogni fase è stata gestita con un approccio professionale e orientato all'efficienza. Questo approccio ha permesso di creare un modello che non solo rispecchia fedelmente le specifiche progettuali a questa fase di progetto, ma che è anche facilmente utilizzabile per le attività di manutenzione successive.

2.4 Configurazione ed esportazione IFC

Dopo aver definito e modellato tutti gli elementi strutturali del viadotto, per poter proseguire con l'esportazione del modello, ho affrontato una serie di step specifici finalizzati alla strutturazione dei dati secondo gli standard IFC. Questi passaggi, che includono l'assegnazione delle **classi IFC** agli elementi del modello e l'inserimento di **Property Sets (PSET)** personalizzati definiti dal committente, sono fondamentali per garantire che il modello sia pronto per la condivisione nell'ACDat.

- Assegnazione delle Classi IFC

Il primo passo è stato l'assegnazione delle **classi IFC** a ciascun elemento del modello. La classificazione IFC è un aspetto cruciale del processo, in quanto determina come ogni componente verrà interpretato nelle piattaforme di visualizzazione e nei software di analisi. Seguendo le specifiche riportate nel modello dati Excel contenente l'elenco delle **EBS** ho assegnato ad ogni componente del modello la sua classe definita, esaminando però attentamente la coerenza tra la classificazione definita nel PGI e gli elementi reali del modello. Questo approccio ha garantito che il modello rispettasse gli standard informativi previsti e mantenesse un elevato livello di qualità e conformità ai requisiti del progetto. L'assegnazione delle classi **IFC** ha contribuito a garantire una maggiore interoperabilità e a rendere il modello facilmente interpretabile e condivisibile.

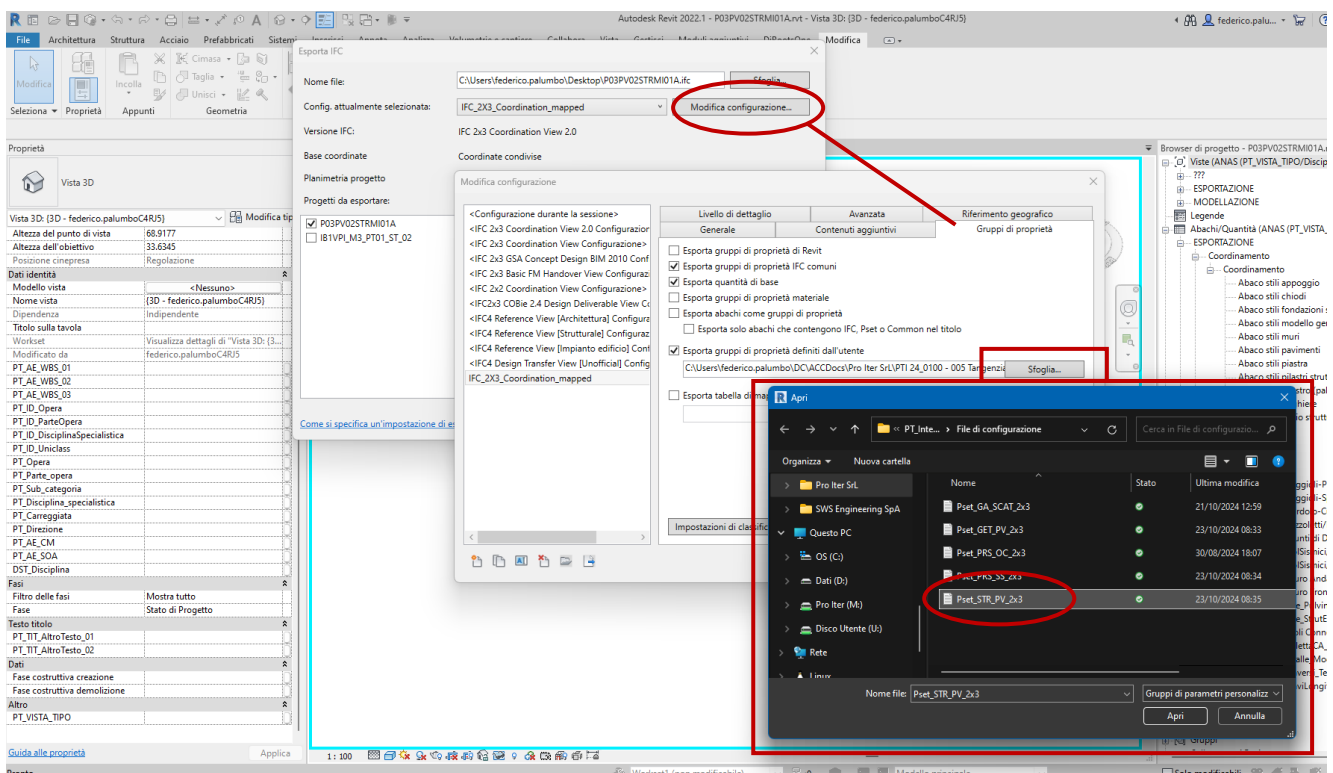
DISCIPLINA SPECIALISTICA	OPERA	PARTE D'OPERA	SUB CATEGORIA	CLASSE IFC	CODICE LOIN DI RIFERIMENTO	AUTORE
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Baggioli	IfcBuildingElementProxy	LO12	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Muro Andatore	IfcWall	LO25	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter
Strutture	Ponti e Viadotti	Spalle	Platea di fondazione	IfcSlab	LO18	Pro Iter

Estratto dell'elenco EBS contenente le classi IFC da attribuire rispettivamente agli elementi

- Inserimento dei Property Sets (PSET)

Dopo aver assegnato le classi IFC in coerenza con i contenuti delle **EBS**, ho proseguito col determinare le impostazioni di esportazione dell'IFC mediante l'inserimento dei **Property Sets (PSET) personalizzati**. Questa fase è stata realizzata mediante l'inserimento di un file txt costruito dal **BIM Manager** e dal **CDE Manager** per garantire che i parametri informativi, precedentemente assegnati agli elementi del modello, siano correttamente trasferiti e leggibili all'interno del file IFC esportato. Questi PSET personalizzati hanno un ruolo cruciale nel rendere il modello completo e funzionale durante l'esportazione, permettendo che le proprietà legate a ogni elemento siano leggibili in base alla classe IFC precedentemente attribuita. L'inserimento del file txt risulta quindi essenziale per stabilire quali proprietà risultano riconoscibili e gestibili per ogni tipo di elemento all'interno in ambiente IFC.

Questa **configurazione** mirata dei PSET ha consentito di allineare il modello IFC con gli standard richiesti, assicurando che i dati informativi e geometrici riflettessero le normative e le esigenze operative. L'obiettivo di questa configurazione è duplice: da un lato, agevola la consultazione immediata delle proprietà attribuite agli elementi in modo da garantire l'**interoperabilità** tra team; dall'altro, assicura una **tracciabilità** dettagliata delle caratteristiche di ogni elemento, facilitando il processo di revisione, analisi e gestione del modello.



Inserimento dei file txt contenente i PSET relativi alla disciplina strutturale

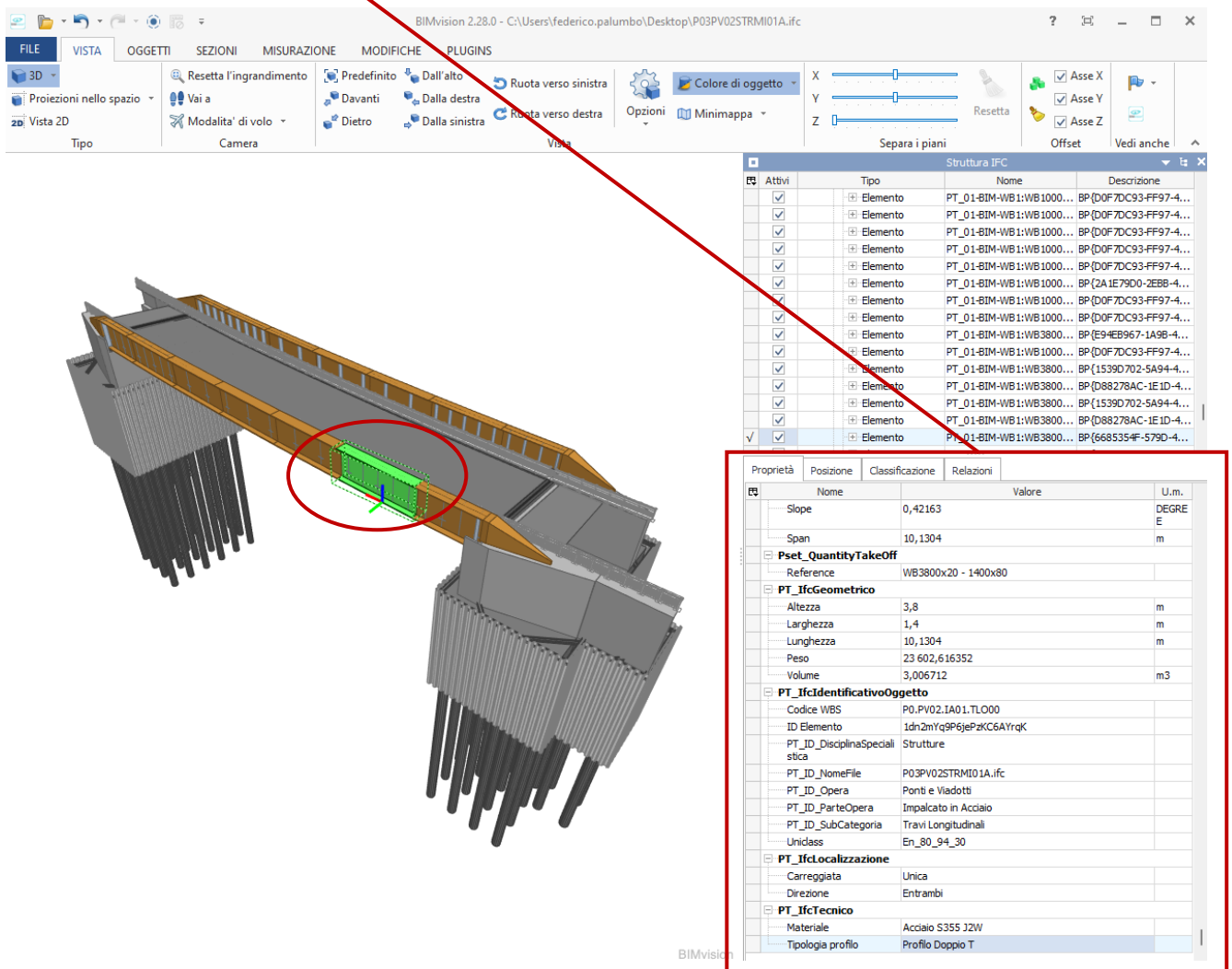
Effettuata l'esportazione, ho verificato attentamente la presenza e la correttezza tra i parametri compilati nel modello in ambiente Revit e quelli leggibili nel modello in ambiente IFC, resi visibili grazie al file txt di configurazione dei **PSET**.

```
PropertySet: PT_IfcIdentificativoOggetto I IfcElement
PT_ID_Opera Text PT_ID_Opera
PT_ID_ParteOpera Text PT_ID_ParteOpera
PT_ID_SubCategoria Text PT_ID_SubCategoria
PT_ID_DisciplinaSpecialistica Text PT_ID_DisciplinaSpecialistica
PT_ID_NomeFile Text PT_ID_NomeFile
Uniclass Text PT_ID_Uniclass
Codice WBS Text PT_ID_CodiceWBS
ID Elemento Text IfcGUID

PropertySet: PT_IfcGeometrico I IfcBeam
Altezza Length PT_GE_Altezza
Larghezza Length PT_GE_Larghezza
Lunghezza Length PT_GE_Lunghezza
Lunghezza Length Lunghezza del taglio
Peso Real PT_GE_Peso

#
PropertySet: PT_IfcLocalizzazione I IfcBeam
Carreggiata Text PT_IC_Carreggiata
Direzione Text PT_IC_Direzione

#
PropertySet: PT_IfcTecnico I IfcBeam
Materiale Text Materiale strutturale
Materiale Text PT_TC_Materiale
Tipologia profilo Text PT_TC_TipologiaProfilo
```



Anomalie informative quali parametri errati, assenti o non visibili, hanno fatto sì che, in fase di **LC1** (livello di coordinamento di primo livello inerente il controllo di dati e informazioni all'interno di un singolo modello), mi fossero stati tempestivamente notificati per poterli correggere. Come è ben noto, durante le attività di model checking nei livelli di verifica e coordinamento (LC1, LC2, LC3), vi è sempre la scomodità operativa legata alla necessità di esportare continuamente il modello IFC ad ogni aggiornamento, un processo che ha dimostrato di essere poco efficiente per i progetti molto grandi. Ogni volta che viene effettuato un adeguamento, infatti, è necessario riesportare il modello per poter riattivare i flussi di approvazione, un'operazione che, come si vedrà nel capitolo seguente, determinerà una vera e propria manovra laboriosa e dispendiosa se si decide di implementare la VR in queste fasi proprio perché vi si configurerebbe uno scenario in cui all'esportazione IFC seguirebbe un'immediata reimportazione nei software di visualizzazione VR.

3. Sviluppo di una strategia per integrare la VR nei processi BIM

3.1 Scenari possibili

Lo standard IFC non nasce per supportare le funzionalità VR e di conseguenza, come vedremo dettagliatamente nel capitolo successivo, i software VR attualmente sul mercato oggi non sono nati per leggere efficientemente IFC.

BIM e VR corrono da troppo tempo senza mai incrociarsi veramente e per tale, è ora di farli finalmente “**Dialogare**” per sfruttare le potenzialità l’un l’altro e dare ai futuri progettisti degli strumenti ancor più interattivi e collaborativi.

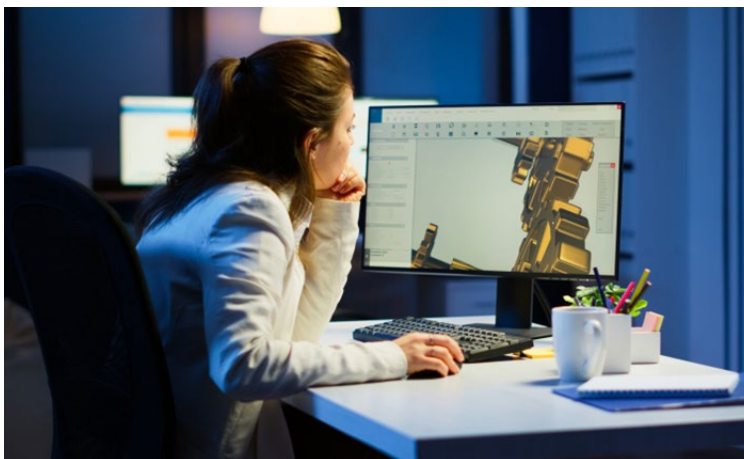
Ad oggi, se volessimo immergerci nella virtualità di un singolo modello IFC dovremmo importare quest’ultimo all’interno di potenti software di visualizzazione VR che, con non poca fatica, ne leggono a malapena la geometria. Se invece fossimo più ambiziosi e volessimo poter utilizzare le funzionalità dei software VR in un contesto BIM vero e proprio si configurerebbero due scenari principali possibili:

1. Utilizzare gli strumenti di VR esclusivamente al termine della fase LC3-V3 quando, concluse tutte le attività di coordinamento e model checking i modelli vengono approvati dal committente. Una strada facile che non incontra ostacoli, quasi un’esperienza teatrale a servizio di un consumatore.
2. Utilizzare gli strumenti di VR durante ogni livello di coordinamento così da poter rendere le attività di model checking un’esperienza interattiva in tempo reale aperta a tutti gli attori BIM coinvolti nella commessa (team di progettazione, BIM manager, coordinator e specialist). I livelli di coordinamento non saranno più un’attività statica eseguita in autonomia dai coordinator che fornirà un output di dati e report, bensì un’esperienza visiva che permettere realmente ad ogni membro di comprendere il completo funzionamento dell’opera e di “**Visualizzare**” veramente le varie interferenze, errori o mancanze.

Va da sé che la prima strada **non** si configurerebbe come una reale opportunità collaborativa e interattiva tra gli attori di un processo progettuale, bensì manterrebbe l’utilizzo della VR una mera esperienza cinematografica. Viceversa, la seconda, decisamente più intrigante ed ambiziosa pone le basi per l’esplorazione di una strada complessa che richiede una precisa strategia per aggirare tutti i **limiti** che attualmente ci impediscono di **incastare** efficacemente i due ambiti. Per rendere davvero efficace l’integrazione tra BIM e VR, quindi, è necessario superare la visione tradizionale della realtà virtuale come semplice strumento di visualizzazione. Se la si limita a una fase finale del processo, quando il modello è già stato verificato e approvato, la VR diventa poco più di un’esperienza estetica, utile per presentazioni immersive ma priva di reale valore operativo nel workflow progettuale. Tuttavia, se adottata fin dalle prime fasi di coordinamento, la VR può trasformare il modo in cui i

team interagiscono con il modello digitale, rendendo il processo più dinamico, intuitivo e collaborativo.

Questa strategia di integrazione tra VR e BIM non si limita solo alla fase progettuale. Un altro ambito di grande interesse è quello del **Facility Management**, ovvero la gestione dell'edificio durante tutto il suo ciclo di vita. Grazie alla realtà virtuale, i gestori degli immobili potrebbero accedere a un modello interattivo dell'edificio, consultare in tempo reale i dati relativi agli impianti, alle manutenzioni programmate e alle eventuali criticità, senza dover ricorrere a schemi complessi o documentazione cartacea. La possibilità di navigare virtualmente all'interno della struttura, identificare in maniera intuitiva le aree che necessitano di interventi e interagire direttamente con i dati BIM, rappresenta un enorme vantaggio in termini di efficienza e riduzione dei costi operativi. L'integrazione della VR nel Facility Management potrebbe quindi trasformare radicalmente il modo in cui gli edifici vengono monitorati e mantenuti, aprendo la strada a una gestione più smart, sostenibile e reattiva alle esigenze degli utenti.



Ricostruzione di un ambiente di lavoro in cui tutti gli attori BIM, durante i livelli di coordinamento e guidati dal BIM Coordinator, possono immergersi nel progetto analizzando in tempo reale interferenze, incongruenze o mancanze progettuali che altrimenti emergerebbero solo attraverso analisi testuali o report. Questo approccio non solo velocizzerebbe il processo di revisione, ma migliorerebbe la comprensione dell'opera in sé ottimizzando la comunicazione tra le parti coinvolte

4 Limiti attuali in ambito BIM-VR

4.1 Importazione IFC in ambiente VR

I **limiti** e le criticità che attualmente ci impediscono di applicare le funzionalità VR alla metodologia BIM sono vari e richiedono un'analisi approfondita. Di seguito, verranno evidenziate ed esaminate nel dettaglio le più rilevanti, con l'obiettivo di proporre, nel capitolo successivo, potenziali soluzioni per superarle e integrare efficacemente i due ambiti.

In questa fase, mi sono quindi imbattuto in tali criticità importando il modello IFC del viadotto da me modellato in precedenza all'interno di **Unreal Engine**³, un software di visualizzazione e sviluppo grafico avanzato che permette di creare ambienti immersivi e interattivi. Unreal Engine, originariamente sviluppato per il settore dei videogiochi, è oggi ampiamente utilizzato anche in architettura, ingegneria e costruzione grazie alla sua capacità di generare render in tempo reale e simulazioni realistiche.

1. Problemi di incompatibilità legati ai driver della GPU

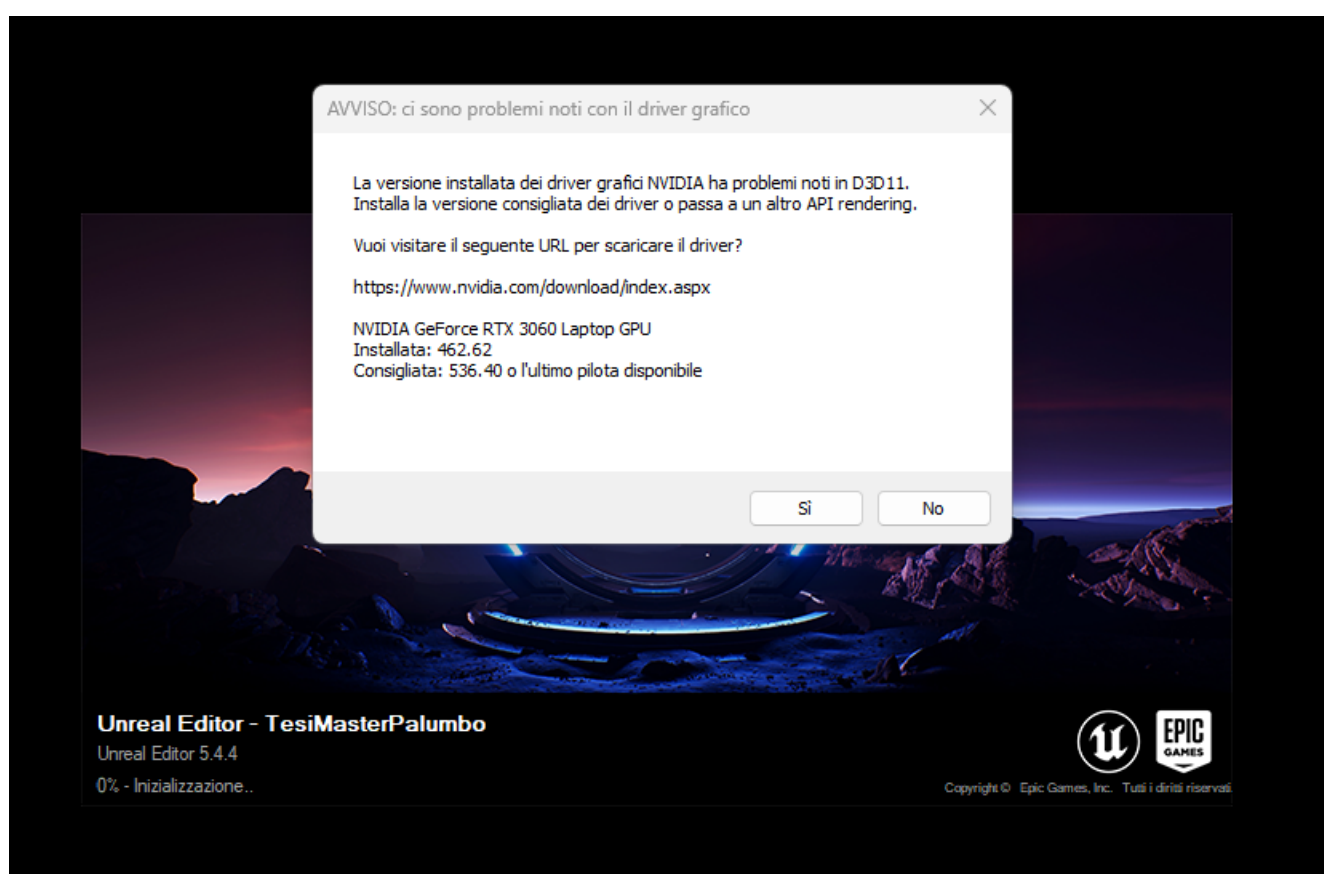
Quando si utilizza un software di VR le prestazioni e la stabilità del software dipendono fortemente dall'interazione dal motore grafico (GPU) dei PC. Uno dei problemi più comuni che gli utenti possono riscontrare è legato all'uso di driver obsoleti o incompatibili i quali possono causare malfunzionamenti. Unreal Engine, come tutti i software VR, è in continua evoluzione e le nuove versioni possono introdurre ottimizzazioni che richiedono driver aggiornati per funzionare correttamente. Versioni troppo vecchie potrebbero non supportare le ultime API grafiche o contenere bug già risolti nelle versioni più recenti.

Il rischio di questa problematica è di incorrere in problemi durante l'utilizzo dei software come crash improvvisi o glitch visivi che ridurrebbero significativamente le prestazioni e la qualità del lavoro. Tali problematiche, dunque, possono rendere difficile lo sviluppo di progetti in Unreal Engine.

Per risolvere questo tipo di limitazione tecnica e rimanere sempre al passo delle ultime versioni dei software di VR è consigliato seguire una procedura ben definita di aggiornamento dei driver della scheda grafica direttamente dal sito ufficiale dell'azienda proprietaria della scheda grafica integrata nel relativo PC. Un processo laborioso e fuorviante che richiede conoscenze informatiche del personale non sempre scontate.

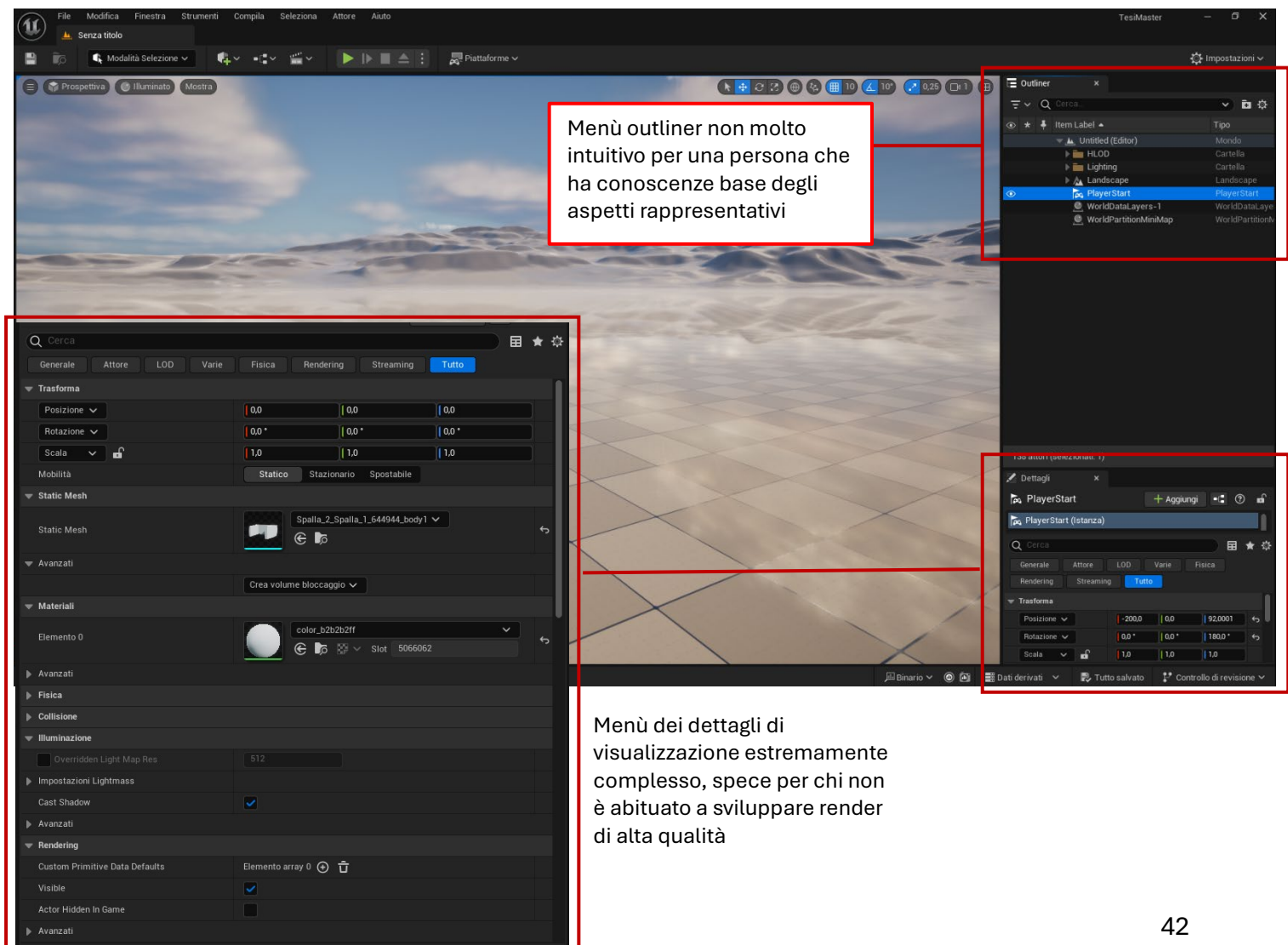
³ Unreal Engine è un motore grafico sviluppato da Epic Games, utilizzato per creare videogiochi e applicazioni interattive in 3D. Grazie alle sue avanzate capacità di rendering e alla versatilità, è impiegato anche in settori come l'architettura, la VR e la visualizzazione BIM.

L'avviso in seguito, apparsomi non appena ho aperto Unreal, indica che la versione attuale dei driver della mia scheda grafica NVIDIA (GeForce RTX 3060 Laptop GPU) ha problemi di obsolescenza e per tale, onde evitare problemi di compatibilità e prestazioni, avrei dovuto utilizzare parte del mio tempo per aggiornare tali componenti prima di dedicarmi all'integrazione dei miei modelli interoperabili in ambiente VR: una situazione che in un contesto di una grande azienda alle prese con progetti di ampia portata non è sostenibile.



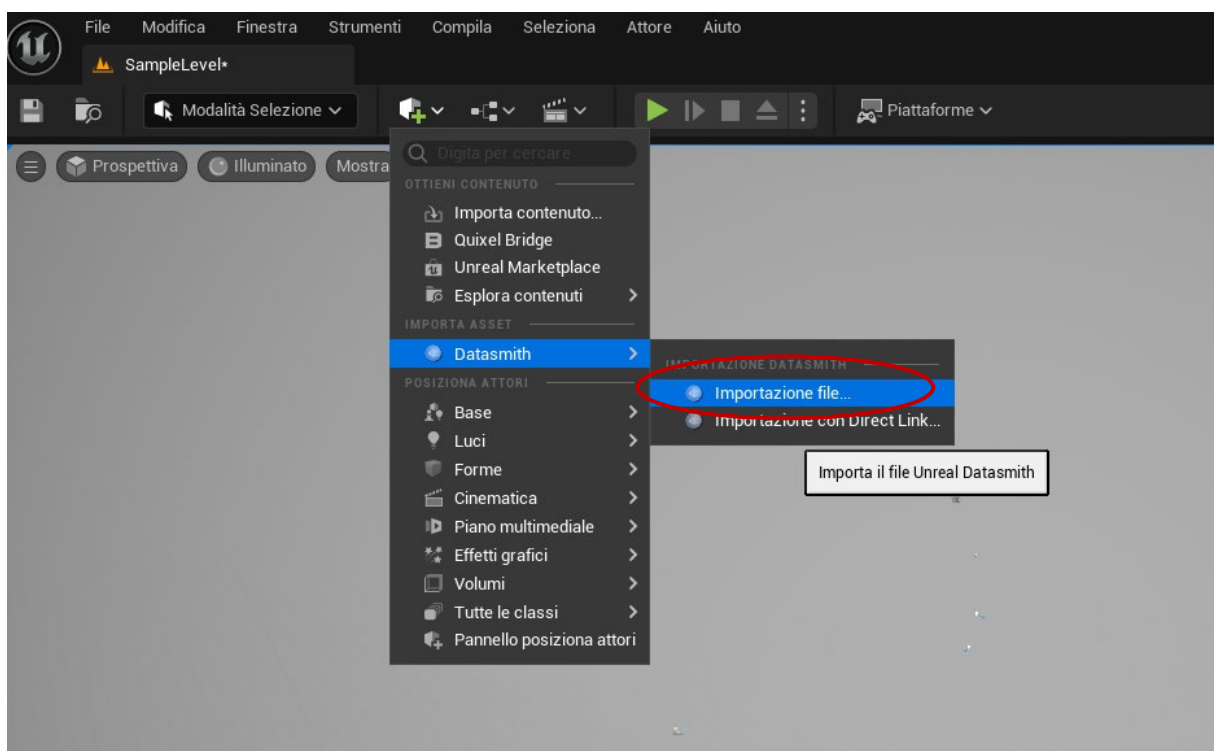
2. Interfaccia poco intuitiva di Unreal Engine

L'utilizzo di **Unreal Engine**, come tutti i software di realtà virtuale, presenta un'interfaccia complessa e poco intuitiva per chi non è esperto del software. L'apprendimento di Unreal Engine, che include la familiarizzazione con i suoi strumenti di importazione e manipolazione di dati CAD e BIM, può essere un processo lungo e richiede un certo investimento di tempo per seguire tutorial e guide, rallentando l'operatività del flusso di lavoro. Questo rappresenta un limite significativo, soprattutto per i professionisti del settore BIM che necessitano di strumenti interoperabili per garantire efficienza. L'utilizzo efficace di Unreal Engine per la visualizzazione VR dei modelli IFC, infatti, richiede competenze avanzate in ambito VR e un certo grado di conoscenza tecnica per la gestione dei modelli, l'ottimizzazione grafica e l'uso dei plugin. La **necessità di formazione** specifica può limitare l'adozione della VR nei flussi di lavoro BIM, richiedendo l'assunzione di personale specializzato o investimenti in corsi di aggiornamento. La curva di apprendimento di Unreal è quindi una barriera iniziale importante, generando una **perdita di tempo** nella fase di impostazione e configurazione.

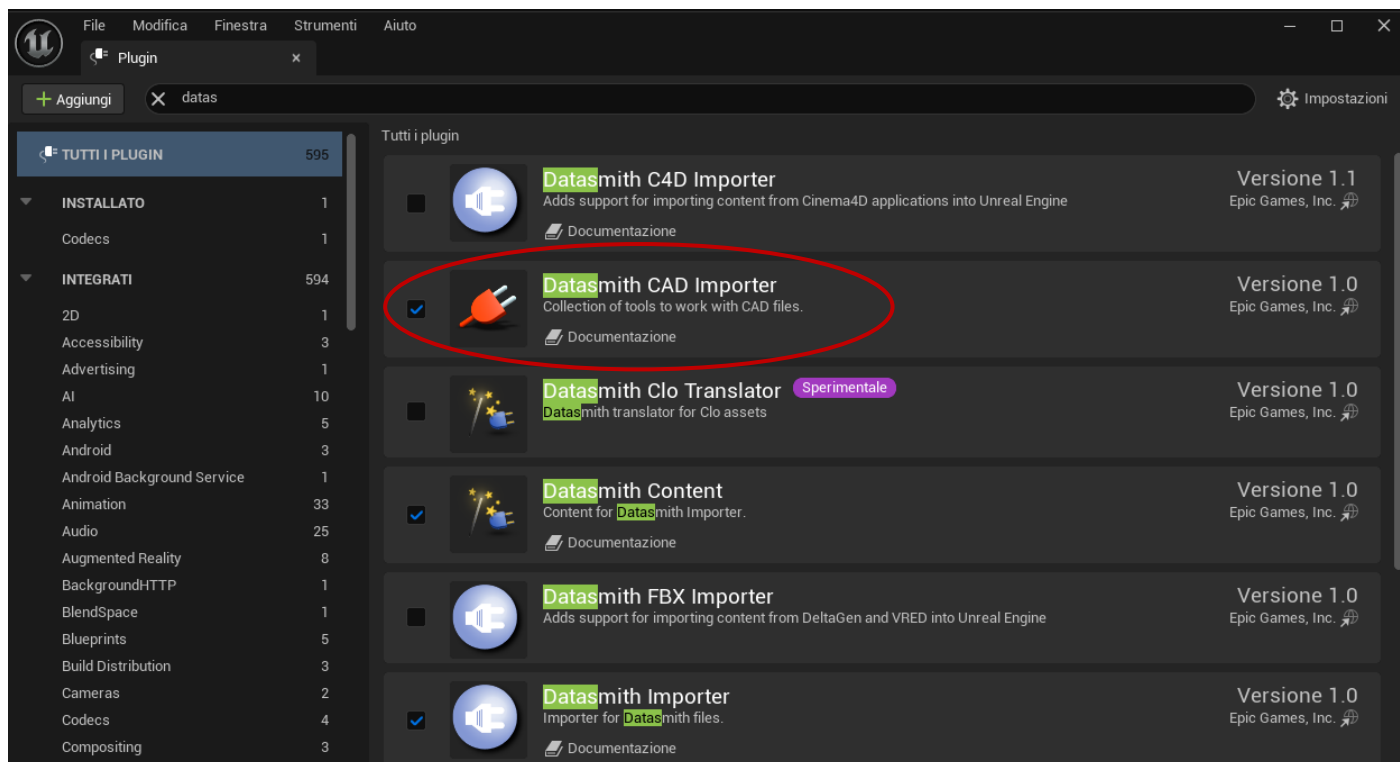


3. Dipendenza dal plugin “Datasmith CAD” per l'importazione del modello

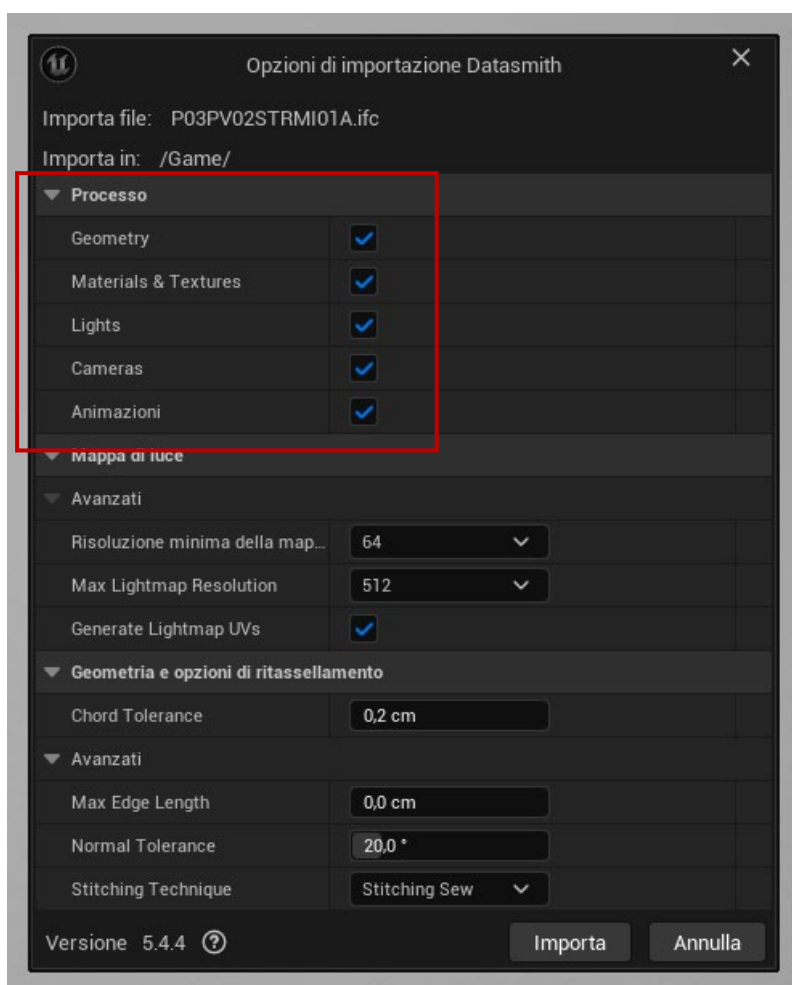
L'importazione dei file IFC in Unreal Engine è possibile solo tramite l'attivazione del plugin “**Datasmith CAD**”, (denominato fino a qualche anno fa “**Datasmith IFC**”), una funzionalità che potrebbe non essere sempre disponibile in ogni versione di Unreal. Laddove il plugin non sia presente di default, è necessario scaricarlo e installarlo separatamente, con la conseguente **perdita di tempo** e rischio di incompatibilità tra versioni. Questo passaggio aggiuntivo non solo complica il flusso di lavoro, ma espone anche l'utente al rischio di errori di importazione, rendendo il processo meno intuitivo e più dispendioso in termini di configurazione. I file IFC, infatti, essendo progettati per una rappresentazione strutturata dei dati, non sono nativamente ottimizzati per l'ambiente VR. Anche con l'uso di plugin come **Datasmith CAD**, possono verificarsi **problemi di conversione** che influenzano la qualità visiva e la coerenza dei dati. Alcuni elementi complessi o proprietà specifiche potrebbero non essere tradotti correttamente in VR, creando discrepanze che compromettono l'esperienza immersiva e la fedeltà al progetto originale. Inoltre, Unreal Engine e altri software di visualizzazione VR sono frequentemente aggiornati, e ogni nuova versione può introdurre cambiamenti che alterano la compatibilità dei plugin o delle funzionalità VR utilizzate. Questo può creare problemi di compatibilità con i modelli IFC già configurati, costringendo a ripetere la configurazione o aggiornare i processi. Gli aggiornamenti continui del software possono anche introdurre nuove funzionalità che richiedono ulteriore formazione, rallentando l'adozione della VR per progetti BIM.



Processo di importazione del modello IFC all'interno del software VR mediante il plug-in *Datasmith CAD*



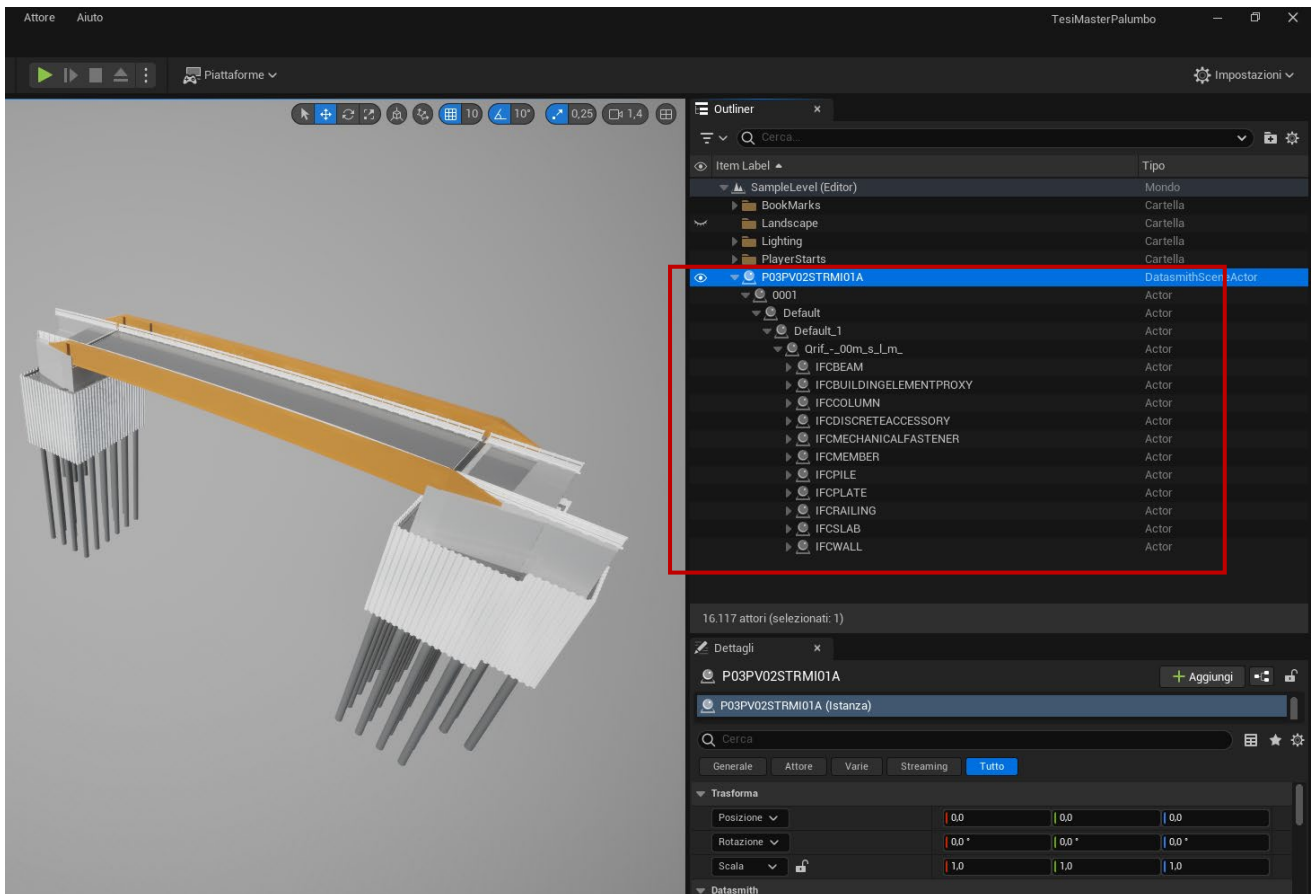
Evidenziato in rosso l'attivazione del Plug-in “*Datasmith CAD*”, necessario per riuscire ad importare i modelli IFC in ambiente VR. Laddove il plugin non sia presente di default, è necessario scaricarlo e installarlo separatamente



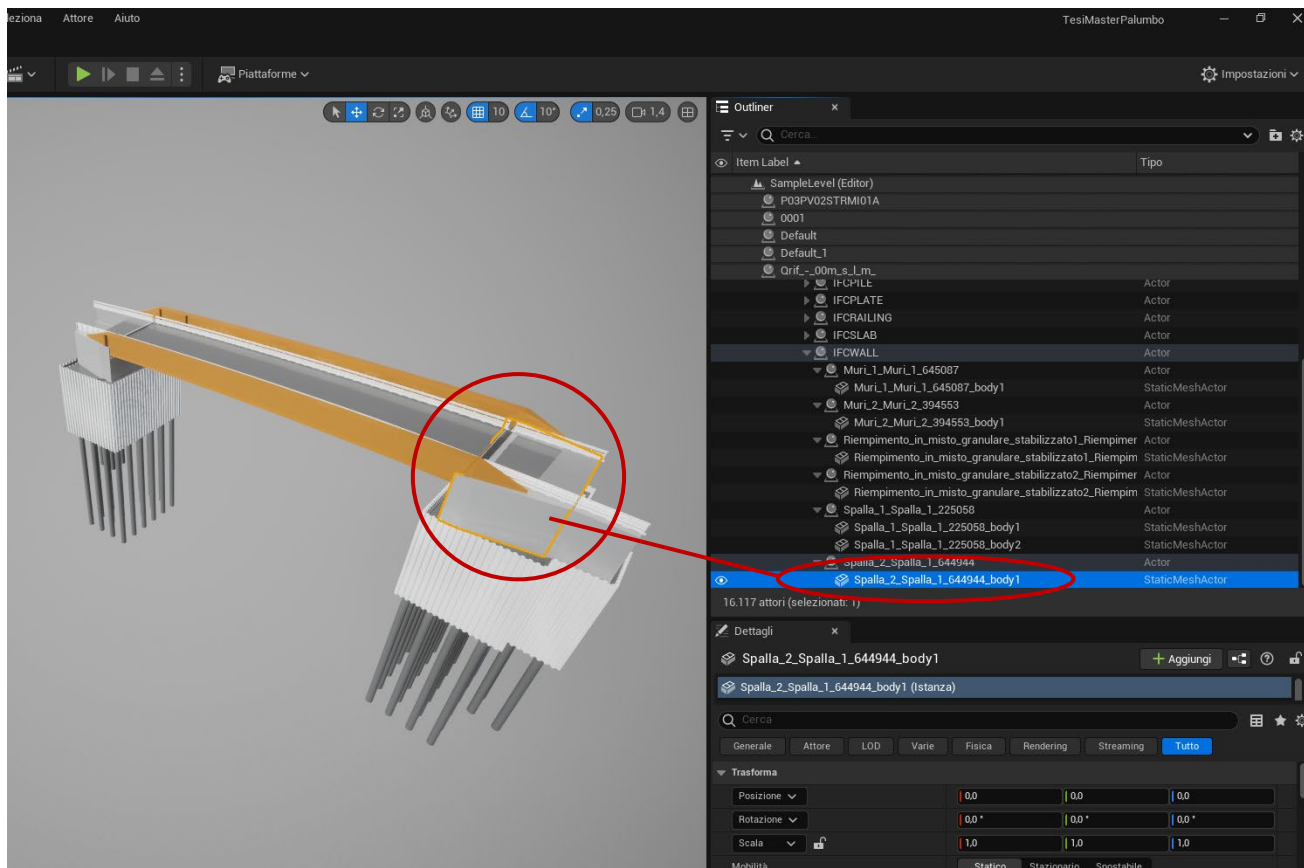
Non appena confermata l'importazione del modello IFC all'interno del software, vi è l'opportunità di spuntare cosa voler visualizzare all'interno di quest'ultimo: interessante notare che non vengono considerate le proprietà parametriche informative degli elementi che costituiscono il modello. Un'assenza che non mi permetterà quindi di leggere i parametri degli oggetti e che quindi declina il concetto stesso di BIM

4. Perdita dei parametri informativi del modello

Uno dei limiti più critici e problematici riscontrati nell'uso della VR per visualizzare modelli BIM in Unreal è l'**assenza o perdita dei parametri informativi** degli elementi del modello. Al momento dell'importazione, Unreal Engine pur riconoscendo le varie classi IFC attribuite agli elementi e l'identità delle "Famiglie" con cui sono stati modellati quest'ultimi, non trasferisce automaticamente i dati parametrici (come materiali, dimensioni e informazioni alfanumeriche essenziali), privando così il modello di gran parte del suo contenuto informativo. Questo problema non solo rende il modello visibile ma totalmente **decontestualizzato** e incompleto dal punto di vista tecnico. La perdita di questi dati rappresenta una **criticità operativa** molto grave in ambito BIM-VR, poiché compromette l'utilità della VR come strumento di progettazione e revisione. Senza i parametri informativi, i modelli diventano mere rappresentazioni visive, senza alcuna profondità o significato contestuale, impedendo l'accesso a informazioni cruciali per l'analisi, la verifica dei materiali, le dimensioni e la gestione dei dettagli tecnici. La mancata trasposizione dei dati parametrici limita drammaticamente la capacità di utilizzo della VR come supporto decisionale, poiché i professionisti si trovano a lavorare con un modello "Vuoto" e scollegato dalle informazioni essenziali che ne costituiscono la base tecnica.



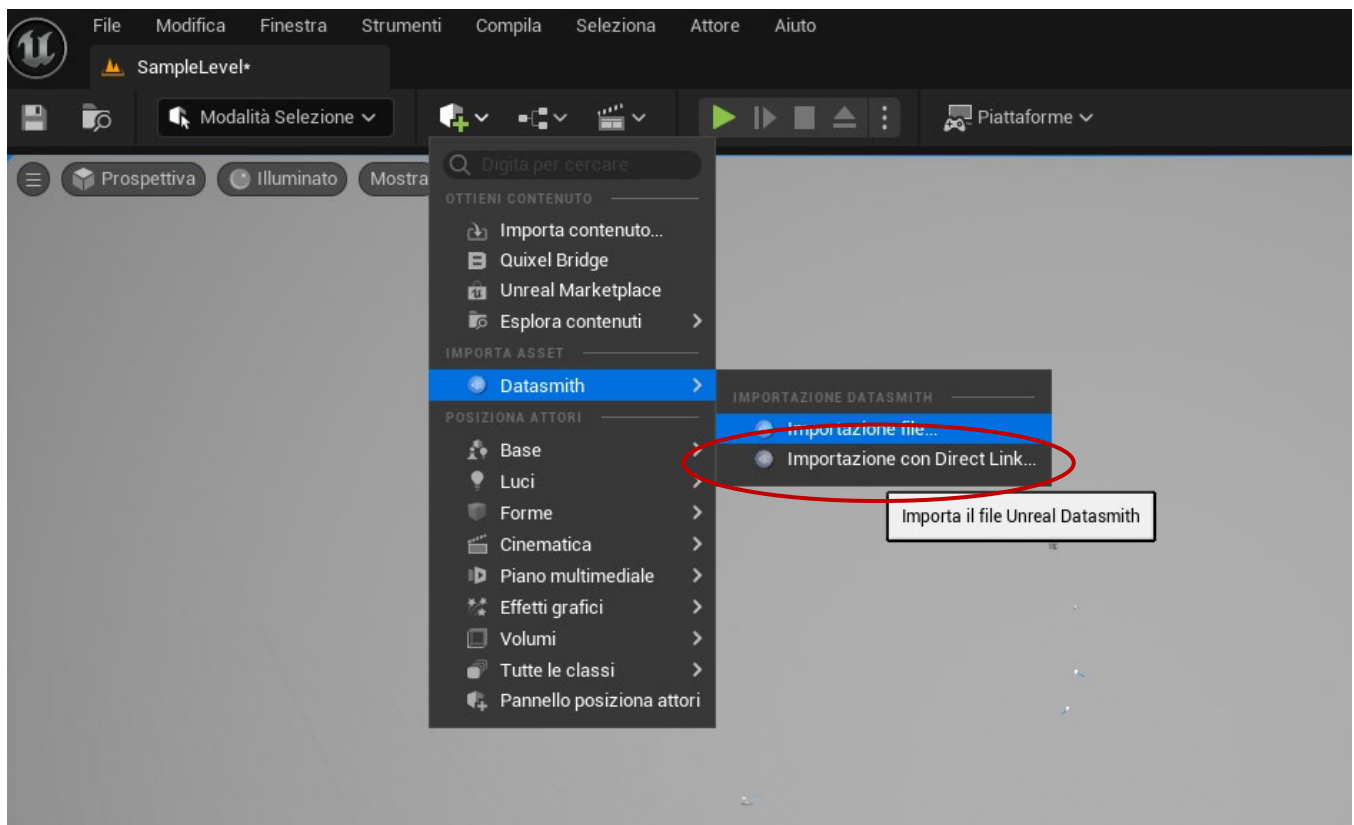
Visualizzazione delle classi IFC attribuite ai rispettivi elementi dal menù outliner



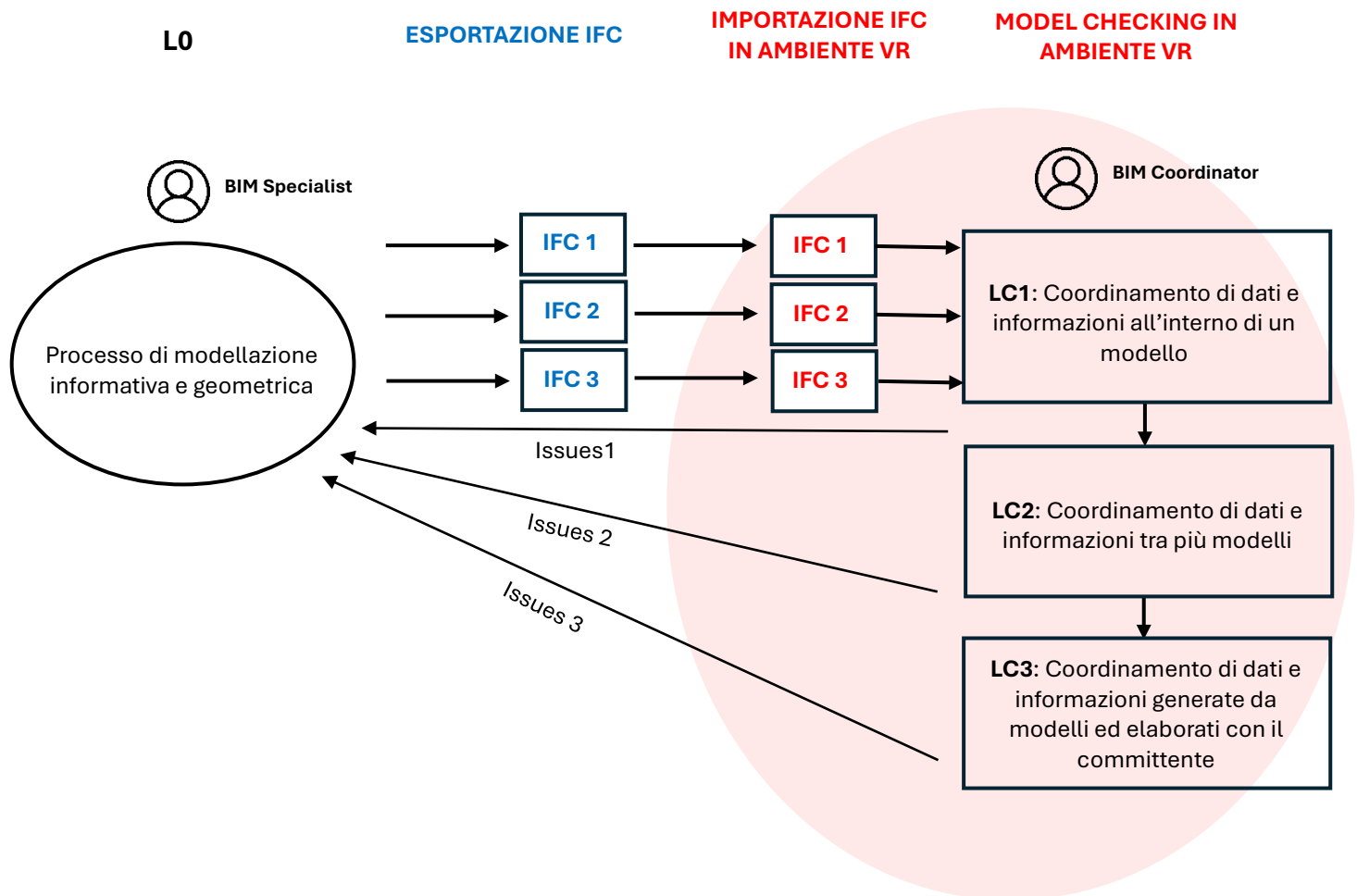
Visualizzazione delle classi IFC e della nomenclatura delle “Famiglie” di modellazione dei rispettivi elementi ma totale assenza dei parametri informativi di quest’ultimi

5. Necessità di una funzione di live sync ottimizzata

Come accennato nel capitolo precedente, l'integrazione della VR nel BIM a tutti i livelli di coordinamento (LC1, LC2, LC3) è ostacolata dalla necessità di esportare e reimportare continuamente i file IFC tra il software di modellazione e l'ambiente VR. Unreal Engine dispone già di una funzione di **Direct Link** progettata per creare una sincronizzazione in tempo reale tra i software di modellazione e l'ambiente VR, eliminando la necessità di esportazioni manuali. Tuttavia, questa tecnologia risulta spesso **inefficace** a causa della scarsa compatibilità con le diverse versioni dei software BIM e i continui aggiornamenti di Unreal. Di conseguenza, il Direct Link non sempre funziona correttamente, costringendo comunque gli utenti a ricorrere all'esportazione e reimportazione dei file IFC. Questo problema riduce l'efficacia della VR come strumento di revisione interattiva e di supporto decisionale, specialmente nei progetti di media e grande scala. Ogni modifica al modello richiede l'esportazione IFC dal software BIM e una successiva reimportazione all'interno di Unreal Engine, un processo che rallenta notevolmente il flusso di lavoro. Per superare questa criticità, sarebbe fondamentale disporre di un sistema di live sync stabile e affidabile, capace di garantire un aggiornamento continuo del modello VR senza interruzioni, indipendentemente dal tipo e dalla versione del software di modellazione utilizzato.



Nel seguente schema è illustrato il workflow BIM attuale integrato alla VR nei rispettivi livelli di coordinamento. Queste fasi, come visto in precedenza, sono molto spesso caratterizzate dall'esportazione dei modelli IFC e la conseguente reimportazione degli stessi nei software di VR a causa del malfunzionamento della funzione di Direct Link: un processo inefficace e laborioso.



Workflow BIM tradizionale mediante scambio di IFC, caratterizzato da esportazioni e reimportazioni continue in Unreal a causa dell'oggettivo malfunzionamento del Direct Link; una sequenza di azioni estremamente dispendiosa se si vuole integrare l'ambiente VR in queste attività senza un'efficace funzione di Live Sync

5. L'ipotesi dello Standard IFX

5.1 IFX come evoluzione dell'IFC: verso l'OpenVR

Convincere le principali software houses di VR ad investire nel BIM sviluppando e lanciando sul mercato versioni di software immersivi compatibili con la lettura degli IFC è una strada tortuosa ed oggettivamente molto complessa. Sebbene questa strategia sia teoricamente realizzabile un domani, attualmente si scontra con significativi ostacoli di natura finanziaria e temporale: le aziende specializzate nello sviluppo di software VR per il settore videoludico difficilmente entrerebbero improvvisamente in un mercato a loro estraneo che richiederebbe invece un processo graduale di adattamento e valutazione delle opportunità.

Viceversa, invece, conoscendo molto bene il mercato BIM e le esigenze di carattere progettuale-innovativo, **iBIMi - BuildingSmart⁴** avrebbe un maggior raggio d'azione nel considerare concretamente questa ipotesi di progetto.

Sebbene l'IFC abbia infatti rappresentato un notevole passo avanti nell'integrazione dei flussi di lavoro BIM, non è stato progettato per esperienze collaborative in tempo reale dove più utenti possono interagire contemporaneamente all'interno dello stesso modello virtuale, e di conseguenza, il suo impiego presenta alcune limitazioni in contesti avanzati come la **realtà virtuale (VR)**.

L'IFX, potrebbe nascere con l'obiettivo di colmare le lacune e superare i limiti dell'attuale formato IFC nel contesto dell'integrazione con ambienti di realtà virtuale. IFX si pone come un'evoluzione dell'IFC che mira a integrare in modo nativo la VR nel BIM, abilitando nuove funzionalità che l'IFC attuale non è in grado di supportare. L'introduzione dell'IFX apporterebbe numerosi vantaggi a tutti gli attori coinvolti nel processo BIM, migliorando la qualità della progettazione e ottimizzando i flussi di lavoro. Grazie alla possibilità di utilizzare un unico standard per la gestione dei dati in BIM e VR, l'IFX consentirebbe di:

- **Ridurre i tempi di lavoro e ottimizzare il workflow:** con uno standard sviluppato ad hoc per supportare le funzionalità VR, non sarebbe più necessario il download dei software VR per la lettura degli IFC in ambiente immersivo. Di conseguenza vi si eliminerebbero i fastidiosi processi di esportazione e reimportazione dei modelli in tali software, rendendo il workflow ottimizzato ed efficiente.
- **Migliorare la qualità della collaborazione e del coordinamento:** la possibilità di lavorare in un ambiente VR condiviso e interattivo durante i vari livelli di coordinamento favorisce una comunicazione più diretta e una

⁴ Ente mondiale che guida la trasformazione digitale del settore delle costruzioni. buildingSMART Italia contribuisce alla creazione di standard aperti e internazionali per infrastrutture ed immobili, garantendo che i bisogni dell'industria italiana vengano ascoltati e supportati

comprensione immediata delle problematiche e delle proposte di modifica. I membri del team, guidati dal BIM Coordinator, possono visualizzare e discutere le modifiche da apportare ai modelli in tempo reale durante le attività di model checking, aumentando la qualità del coordinamento stesso e permettendo una gestione del progetto più integrata e sinergica.

- **Migliorare la gestione di Facility Management:** integrando sensori IoT direttamente nella struttura capaci di fornire dati dinamici nel tempo, l'IFX si pone anche come uno standard avanzato per la gestione delle strutture e la manutenzione predittiva durante l'intero ciclo di vita delle strutture. I progettisti possono monitorare e “**Visualizzare**” lo stato della struttura direttamente dal modello as-built sfruttando le funzionalità della VR. Ciò permetterebbe di analizzare in modo interattivo le condizioni strutturali di un'opera, pianificando interventi di manutenzione in base a dati aggiornati e contestuali.

IFX rappresenterebbe quindi un possibile progetto in grado di integrare in modo strategico ed intelligente le funzionalità VR al workflow BIM. Attraverso la risoluzione delle numerose limitazioni attuali in campo BIM-VR, l'IFX si propone come uno standard innovativo per l'adozione della VR nel settore AEC, portando il BIM ad un livello di **interattività, collaborazione e visualizzazione** senza precedenti. Questo nuovo standard potrebbe potenzialmente rivoluzionare il modo in cui gli attori del settore interagiscono con i modelli digitali, trasformando la VR da semplice strumento di visualizzazione a piattaforma di lavoro integrata e collaborativa: **OpenVR**.



IFC



IFX

5.2 Superamento delle limitazioni attuali

Il nuovo standard IFX introdurrebbe alcune caratteristiche innovative progettate specificamente per integrare gli strumenti VR nel BIM, superando le criticità tecniche e pratiche evidenziate nel precedente capitolo che oggi limitano l'esperienza immersiva:

1. Spirito Open e intuitività

IFX, come **IFC**, manterrà ovviamente un formato **aperto** e non proprietario, nel totale rispetto della norma **ISO 16739**. IFX verrà utilizzato quindi non soltanto per scambiare e condividere dati durante le fasi di progettazione, costruzione, gestione e manutenzione della commessa, bensì porrà le basi per ridefinire i livelli di coordinamento BIM e quindi le fasi di model checking, rendendo tali attività un'esperienza decisamente più collaborativa e interattiva all'interno del workflow BIM.

Le funzionalità interattive della VR sono native allo standard IFX e vogliono essere progettate per essere immediate, riducendo al minimo la curva di apprendimento da parte di tutto il team. In questo modo non vi è più necessità di formazione specifica o corsi di aggiornamento per imparare l'utilizzo delle complesse piattaforme di visualizzazione immersiva. La curva di apprendimento non è più quindi una barriera iniziale importante e non genererà più perdite di tempo nella fase di impostazione e configurazione.

2. Indipendenza dai plugin ed eliminazione delle incompatibilità

Essendo un formato aperto come IFC ma progettato specificamente per l'integrazione nativa della VR nei progetti BIM, l'IFX non dipenderebbe da plugin esterni come **Datasmith CAD** per l'importazione e gestione dei file, evitando così il rischio di incompatibilità o di mancanza di funzionalità nelle versioni future dei software. Con IFX, il processo di importazione dei modelli in ambiente VR sarebbe ottimizzato per garantire una conversione senza perdita di dati, con una rappresentazione fedele e dettagliata del progetto originale. Inoltre, l'IFX verrebbe strutturato per supportare direttamente le funzionalità di VR in modo nativo, senza richiedere configurazioni complesse o riadattamenti dopo ogni aggiornamento del software. Questo approccio ridurrebbe drasticamente il tempo di configurazione e la possibilità di errori di importazione, consentendo ai professionisti BIM di concentrarsi sull'esperienza immersiva e sulla qualità del progetto, anziché sulle difficoltà tecniche. La stabilità e la coerenza garantite dall'**IFX** contribuirebbero così ad accelerare l'adozione della VR nel settore, fornendo una soluzione sostenibile e aggiornata per la visualizzazione immersiva dei modelli BIM.

3. Visualizzazione corretta di tutti i parametri informativi

L'IFX consentirebbe di visualizzare in ambiente VR tutti i **parametri** informativi associati ai modelli BIM, superando uno dei principali limiti dell'IFC attuale in ambiente VR che vedeva la completa o parziale perdita degli stessi. In questo modo, ogni elemento può essere selezionato e interrogato direttamente nell'ambiente virtuale, fornendo agli utenti informazioni dettagliate come materiali, dimensioni, proprietà strutturali, stato di manutenzione e dati di monitoraggio. Questa capacità di accesso immediato ai dati arricchisce l'esperienza VR, trasformandola in uno strumento completo per l'analisi e la gestione delle informazioni. Tale punto è estremamente importante in quanto permette di superare il **pericolo** di eventuali perdite dei dati causate dall'importazione ripetuta dei file IFC nei software di visualizzazione VR.

4. Collaborazione multiutente in tempo reale

Con IFX la possibilità di trasferire i livelli di coordinamento e le attività di model checking in un ambiente VR rappresenta un'importante innovazione nei progetti complessi e multidisciplinari. D'altro canto, oggi l'IFC non prevede nativamente il supporto per ambienti multiutente in tempo reale, limitando, come abbiamo già visto nei capitoli precedenti, la collaborazione in queste specifiche fasi. L'IFX si propone di consentire a più utenti, guidati dal BIM Coordinator, di accedere e interagire contemporaneamente con il modello in VR nelle fasi di coordinamento. Questa caratteristica è particolarmente vantaggiosa per le sessioni di **revisione** di progetto, poiché consente una collaborazione interattiva e decisamente più comprensiva del funzionamento dell'intera opera e delle Clash ai progettisti.

5. Workflow e Live sync ottimizzati

Senza più la necessità di disporre di un software VR specifico per la lettura dei modelli IFC in ambiente VR, vi si supera completamente il laborioso processo per cui ad ogni esportazione IFC dai software di modellazione corrispondeva una relativa nuova importazione in ambiente VR e per tale, non sarebbe più necessario lo sviluppo di una funzione di **live sync** come descritta nei capitoli precedenti. Predisponendo di uno standard che già in modo nativo mi permette di attivare le funzionalità VR all'interno del modello, infatti, come per IFC nell'attuale workflow BIM, basterebbe un solo ciclo di esportazione dai software di authoring per visualizzare le modifiche e gli aggiornamenti all'interno di IFX e quindi in ambiente VR.

Ma cosa accadrebbe se IFX, oltre a permetterci di superare il dispendioso processo di “Eporta e reimporta”, come detto, avesse per giunta al suo interno anche una funzione di Live Sync che consentirebbe di riflettere istantaneamente le modifiche al modello direttamente dai software di modellazione nell’ambiente VR interno a IFX?

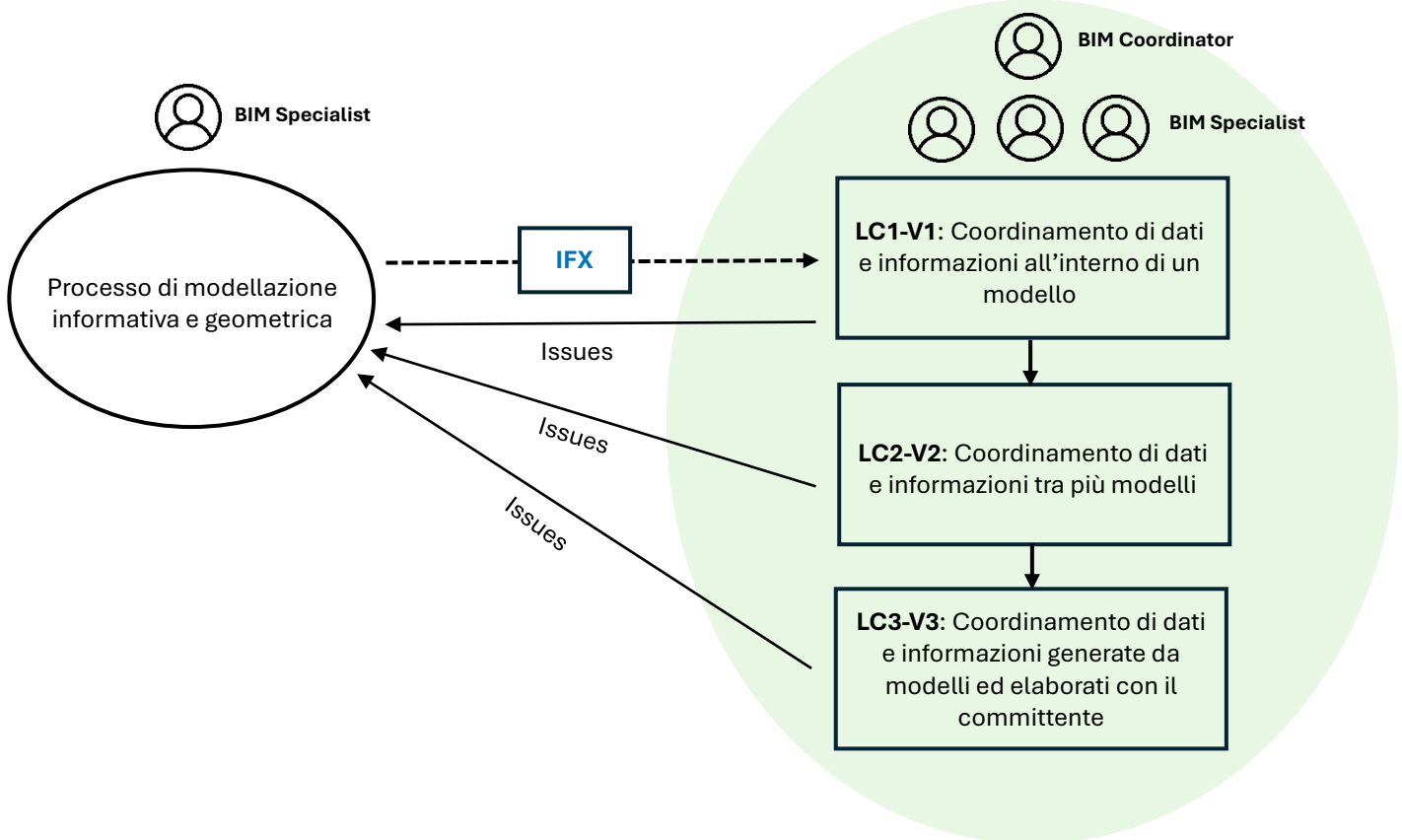
La risposta è semplice: **un livello di ottimizzazione del workflow mai raggiunto prima** che ci consentirebbe di esportare una ed una sola volta il file IFX per poi tenerlo aggiornato esclusivamente utilizzando la funzione stessa di Live Sync. Questa caratteristica permetterebbe di garantire un flusso di lavoro continuo, in cui progettisti e collaboratori possono vedere immediatamente le modifiche nell’ambiente VR interno a IFX senza interruzioni. La live sync rappresenterebbe un cambiamento radicale nel **workflow BIM**, poiché consentirebbe una revisione continua e dinamica del modello, aumentando l’efficienza complessiva e permettendo una collaborazione interattiva e fluida. In questo modo, la VR non sarebbe più un mero strumento di presentazione statica, ma diventerebbe una parte attiva del flusso di lavoro BIM.

Lo schema che segue illustra l’integrazione della VR nelle attività di coordinamento BIM confrontando tale processo sia con l’utilizzo di IFX che di IFC. Come si evince, il laborioso processo di esportazione dei modelli e la successiva loro reimportazione nei software di VR rappresenta un’attività dispendiosa e non sostenibile. Inoltre, essendo tali attività svolte esclusivamente in autonomia dal BIM coordinator, non vi è l’opportunità di rendere questa fase un momento di collaborazione e maggior comprensione dell’opera a tutti i membri di progetto. Viceversa, oltre a garantire una maggior collaborazione in queste attività, con IFX e la conseguente funzione di Live Sync ottimizzata rispetto al Direct Link di Unreal, il flusso di lavoro durante i livelli di coordinamento viene caratterizzato da una sola esportazione iniziale dei modelli, per poi operare ad aggiornare e correggere quest’ultimi direttamente dallo stesso strumento di Live Sync.

L0

LIVE SYNC: Una ed una sola esportazione necessaria in IFX

MODEL CHECKING IN AMBIENTE VR

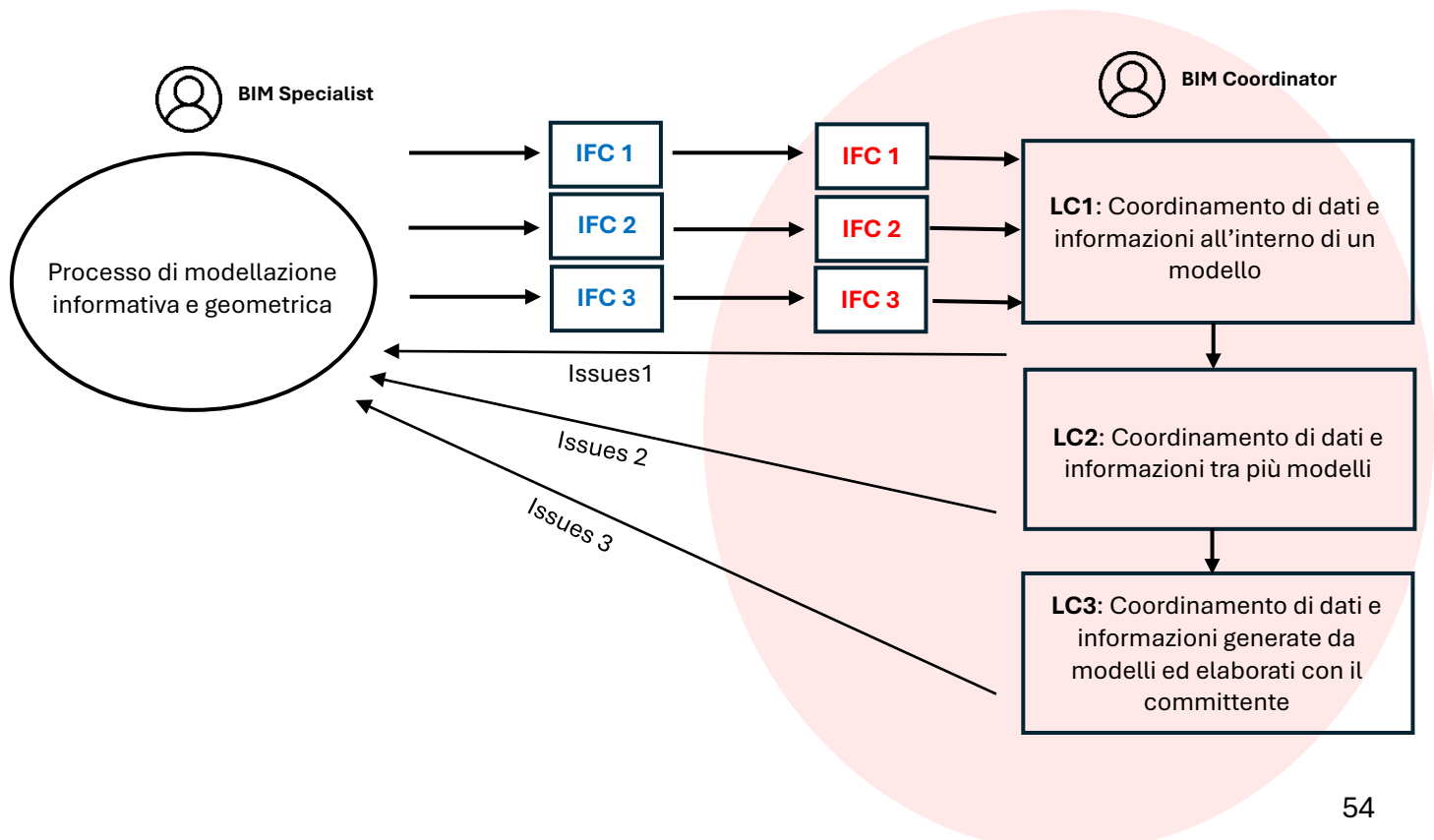


L0

ESPORTAZIONE IFC

IMPORTAZIONE IFC IN AMBIENTE VR

MODEL CHECKING IN AMBIENTE VR



5.3 Struttura di IFX

Il formato IFX (**Industry Foundation eXtended**) nasce come un'estensione del formato IFC, con l'obiettivo di integrare in modo nativo le funzionalità di realtà virtuale VR all'interno di tali file. L'idea alla base di IFX è semplice ma potente: consentire agli utenti di attivare la modalità VR direttamente dai software che già utilizzano per visualizzare gli IFC, come BIM Vision, usBIM, Navis, Solibri... senza la necessità di convertire il file in un formato proprietario o di utilizzare software di visualizzazione aggiuntivi. Attualmente, come detto nei capitoli precedenti, il formato IFC è lo standard di riferimento per la condivisione di modelli BIM, ma presenta una lacuna significativa: non è progettato per gestire in modo nativo esperienze interattive in realtà virtuale. IFX si propone di colmare questa mancanza, aggiungendo un set di proprietà che permettono di definire punti di ingresso nella scena VR, viste predefinite, elementi interattivi: tutto mediante **pulsanti** per attivare la VR direttamente all'interno del file.

Il file IFX è essenzialmente un file IFC con proprietà aggiuntive che ne espandono le funzionalità. Questo significa che qualsiasi software in grado di leggere un file IFC potrà tecnicamente aprire un file IFX, con la differenza che i viewer compatibili mostreranno anche un pulsante dedicato per l'attivazione della VR. Per rendere questa integrazione possibile, IFX potrebbe introdurre il **Pset_IFX_VR**, un Property Set contenente un insieme di proprietà pensate per definire gli elementi chiave dell'esperienza VR.

Con l'ausilio dell'**intelligenza artificiale** in questa fase, ho sperimentato di dare un'identità ed una funzione specifica alle proprietà aggiuntive di questo PSET:

- **IFX_VRButton (IfcBoolean)**: Indica se il modello supporta la modalità VR. Se impostato su TRUE, il visualizzatore mostrerà un pulsante per attivare la realtà virtuale.
- **IFX_EntryPoint (IfcCartesianPoint)**: Definisce le coordinate XYZ del punto in cui l'utente entrerà nella scena VR per potersi successivamente muovere al suo interno
- **IFX_Viewpoints (IfcTable)**: Contiene una serie di viste predefinite, ciascuna con posizione e angolo di visualizzazione.
- **IFX_Interactions (IfcTable)**: Specifica gli oggetti interattivi nel modello, come finestre, porte o altri elementi con cui l'utente può interagire.

Grazie a queste proprietà, un file IFX può essere aperto da qualsiasi visualizzatore IFC standard attualmente presente sul mercato. Tuttavia, solo i viewer che supportano l'estensione IFX mostreranno il **pulsante VR** e gestiranno le interazioni. Uno degli aspetti più innovativi di IFX è che **non** richiede un nuovo motore di rendering o un software dedicato. Il formato è stato progettato per essere retrocompatibile con gli attuali visualizzatori IFC. Ciò significa che i file IFX possono essere aperti

normalmente nei viewer IFC esistenti. Un viewer che supporta IFX leggerà le nuove proprietà e mostrerà un pulsante “**Attiva VR**” nell’interfaccia utente. Una volta attivata la VR, il visualizzatore caricherà il modello impostando il punto di ingresso e le viste predefinite. Gli elementi interattivi definiti nel file (pulsanti, porte, ecc.) saranno riconosciuti e gestiti direttamente dal visualizzatore.

Per rendere possibile tutto questo, sarà necessario però sviluppare dei plugin o estensioni per i principali visualizzatori IFC, in modo che possano leggere e interpretare correttamente i dati IFX. Questi plugin permetteranno di visualizzare il pulsante VR e di gestire l’esperienza interattiva all’interno del modello.

Immaginiamo un caso d’uso concreto: un BIM Coordinator sta per svolgere l’attività di coordinamento LC2 in cui, dopo aver federato i modelli, verifica l’eventuale presenza o meno di clash tra gli stessi. Sta lavorando su più modelli federati e, grazie all’opportunità che offre **IFX**, vuole che i rispettivi team BIM prendano parte a tale attività per poter dar loro l’opportunità di comprendere in maniera più esaustiva il comportamento dell’intera opera in ogni sua componente e di eventuali sue problematiche. All’interno di Navis, per esempio, carico il mio file IFX che, tra le proprietà caratteristiche di un file interoperabile tipico, mostrerà un pulsante “**Attiva VR**”. Cliccando su questo pulsante, gli utenti entrano nella scena VR nel punto esatto definito in **IFX_EntryPoint**, con la possibilità di navigare tra le viste predefinite. I vari BIM Specialist, indossando un visore e guidati interattivamente dal BIM Coordinator o Manager, possono esplorare il progetto e interagire con alcuni oggetti. Lo scopo è far visualizzare il comportamento dell’opera federata e le sue eventuali problematiche. Tutto questo senza conversioni, senza perdite di dati e senza uscire dall’ambiente BIM.



Ricostruzione di un ambiente di lavoro durante i vari livelli di coordinamento

I prossimi passi per rendere IFX una **realtà**, potrebbero essere:

- Scrivere una documentazione tecnica formale che definisca nel dettaglio la struttura del formato IFX e le sue specifiche.
- Creare di un file prototipo IFX: Un primo file IFC contenente le proprietà IFX, da testare nei visualizzatori esistenti.
- Sviluppare un plugin per i visualizzatori: creare un'estensione per BIM Vision, usBIM e Solibri che permetta di leggere IFX e attivare la modalità VR con un singolo pulsante.

IFX rappresenterebbe un passo avanti significativo per l'integrazione della realtà virtuale nel mondo BIM. Permette di mantenere la compatibilità con gli strumenti esistenti, senza richiedere conversioni complesse o nuove piattaforme. L'obiettivo è rendere la realtà virtuale accessibile direttamente all'interno del flusso di lavoro BIM, facilitando la collaborazione e migliorando la comprensione dei progetti da parte di tutti gli attori coinvolti. Con il giusto supporto da parte della community BIM e delle aziende che sviluppano software di visualizzazione, IFX potrebbe diventare lo standard di riferimento per la realtà virtuale nel settore AEC.



+ *Pset_IFX_VR* **=**



6. Potenziale influenza dell'OpenVR sul mercato

6.1 Impatto economico e stima dell'OpenVR per una PMI

L'integrazione della VR nel settore BIM rappresenta un passo significativo verso la **digitalizzazione** dei processi di progettazione e gestione. Tuttavia, uno degli ostacoli principali all'adozione su larga scala è il costo iniziale delle attrezzature VR e delle licenze full dei software di visualizzazione, come Unreal Engine, Unity, Enscape e simili.

Questo capitolo analizza i benefici economici derivanti dall'integrazione della tecnologia OpenVR nei flussi di lavoro BIM mediante IFX, con particolare attenzione alla valutazione dei costi e dei risparmi nel breve e medio-lungo periodo. L'obiettivo è stimare e **confrontare l'investimento** economico richiesto per l'adozione della VR, attualmente caratterizzato da elevati costi legati alle licenze full dei software di visualizzazione, con l'integrazione della VR in BIM mediante IFX.

Per calcolare i costi di implementazione attuali della VR, consideriamo uno studio di ingegneria medio in Italia con 5 BIM Specialist, 2 BIM Coordinator e 1 BIM Manager. I costi principali da prendere in considerazione includono:

- **Costo medio iniziale per visori VR** di medio-alta qualità presenti sul mercato attualmente
- **Costo medio delle licenze full⁵ dei principali software VR** presenti sul mercato attualmente (Unreal Engine, Unity, Enscape...)

Tabella 1: riassunto dei costi attuali per il primo anno di utilizzo delle funzionalità VR

Voce di costo	Costo per unità	n. postazioni figure BIM	Costo totale primo anno
Visori VR	€600	8	€4.800
Licenze software	€1.700/anno	8	€13.600
Totale			€18.400

⁵ per licenza full s'intende l'acquisto delle funzionalità complete di un software, senza considerare le versioni educational e di prova

Il caso di **Unreal Engine**: sotto il milione di fatturato si può usufruire della licenza gratuita; sopra il milione il costo della licenza full, al netto delle tasse applicabili, è di circa €1.850/annui/postazione

Licenza

Meno di 1 milione di dollari di fatturato?

Gratuito

- **Sviluppatori di giochi** (le royalty si applicano dopo 1 milione di USD di fatturato lordo del prodotto)
- **Individui e piccole imprese** (con meno di 1 milione di dollari USA di fatturato lordo annuo)
- **Per educatori e scuole** (senza limiti di fatturato)

- ✓ Accesso al codice sorgente
- ✓ Tutte le piattaforme e le funzionalità
- ✓ Forum e documentazione sulla Epic Developer Community

[Scarica ora](#) [Visualizza le FAQ](#)

Basato sul sedile

Se utilizzi Unreal Engine per scopi commerciali, hai generato più di **1 milione di dollari negli ultimi 12 mesi** e non stai creando un gioco o un'applicazione che si basa sul codice motore in fase di esecuzione e che verrà concesso in licenza a utenti finali terzi, **allora è richiesta una tariffa di licenza per postazione**.

[Mostra esempio](#) ✓

Costo

€ 2.102,06 per posto all'anno.

Epic Direct Support disponibile come acquisto aggiuntivo per i licenziatari con **≥10 postazioni**.

Include

- Licenza annuale per [Unreal Engine](#)
- Licenza annuale per [Twinmotion](#)
- Licenza annuale per [RealityCapture](#)

Posti a sedere

—


1

+

\$ 1.850 / posto / anno
(+ tasse applicabili)

\$ 1.850 / anno

I posti vengono acquistati e gestiti tramite il [Portale per sviluppatori](#).

 [Acquista i posti](#)

[Inizia la prova gratuita di 30 giorni](#)

La principale opportunità di **risparmio** economico nell'integrazione della realtà virtuale (VR) nel BIM mediante IFX risiede nella possibilità di eliminare i costi significativi legati alle **licenze** proprietarie dei software, che rappresentano una delle voci di spesa più consistenti nell'adozione della VR nei flussi di lavoro BIM. Attualmente, i software di visualizzazione VR di alta qualità richiedono licenze annuali per ciascun utente, con costi che possono facilmente accumularsi nel tempo e impattare notevolmente i bilanci aziendali, soprattutto per studi di ingegneria e architettura di piccole e medie dimensioni. In questo contesto, l'introduzione dello standard IFX rappresenterebbe una soluzione rivoluzionaria, in quanto permetterebbe di offrire funzionalità VR completamente integrate all'interno del formato BIM stesso, senza dover ricorrere a software esterni che richiedano licenze a pagamento. IFX, essendo un formato open, eliminerebbe del tutto la dipendenza da software di terze parti e i costi ricorrenti associati. Questo approccio renderebbe la tecnologia VR più **accessibile**, non solo per le grandi imprese ma anche per gli studi più piccoli, favorendo un utilizzo esteso della VR nel settore delle costruzioni e della progettazione.

Le tabelle seguenti forniscono una panoramica dettagliata dei risparmi ottenuti nei primi cinque anni, mettendo a confronto **due scenari** distinti. Nel primo scenario, si considera l'investimento nella VR attuale, per i quali è necessario acquistare licenze a pagamento su base annuale. Nel secondo scenario, invece, viene analizzato il contesto in cui viene implementato lo standard IFX che integra le funzionalità VR direttamente all'interno del flusso di lavoro BIM.

Tabella 2 e 3: confronto tra la spesa totale attuale nell'utilizzo della VR e la spesa potenziale mediante OpenVR

Attuale VR

Anno	Costo visori VR x n.8 figure BIM	Costo licenze software/anno	Costo totale annuo
1	€4.800	€13.600	€18.400
2	—	€13.600	€13.600
3	—	€13.600	€13.600
4	—	€13.600	€13.600
5	—	€13.600	€13.600
Totale	€4.800	€68.000	€72.800

Potenziale OpenVR

Anno	Costo visori VR x n.8 figure BIM	Costo licenze software/anno	Costo totale annuo
1	€4.800	€0	€4.800
2	—	€0	€0
3	—	€0	€0
4	—	€0	€0
5	—	€0	€0
Totale	€4.800	€0	€4.800

+ eventuali costi aggiuntivi relativi la formazione del personale BIM sull'OpenVR a carico dell'azienda ipoteticamente ogni 5 anni:

€500/persona
(ogni 5 anni)

€8.800

Valore medio ricavato da:

<https://www.udemy.com/it/topic/revit/>

<https://www.letitbim.it/bim-academy/formazione-bim/>

https://www.guidaeditizia.it/bim/quanto-costa-la-formazione-bim/_cfp/1/

I corsi di aggiornamento specifici sui moduli BIM orientati all'approfondimento di competenze tecniche hanno costi variabili a seconda della durata e della complessità del contenuto. In media, un corso dedicato a un singolo modulo di può costare dai **€300 ai €700 per partecipante**. Questi corsi, spesso della durata di alcune decine di ore, si concentrano su singoli aspetti operativi o su tecniche avanzate di modellazione e gestione dei dati BIM.

L'adozione di IFX, eliminando la necessità di licenze software a pagamento, offre una soluzione economicamente più vantaggiosa e sostenibile nel lungo termine, mantenendo comunque le capacità di visualizzazione immersiva tipiche dei software commerciali.

Questo confronto evidenzia chiaramente come **l'introduzione** dell'OpenVR mediante IFX consenta di ridurre drasticamente i costi associati all'adozione della VR, offrendo alle imprese un'alternativa accessibile e altrettanto efficiente. I risparmi accumulati nel corso dei cinque anni dimostrano l'importanza di soluzioni open, che non solo abbassano la barriera economica d'ingresso alla tecnologia VR, ma favoriscono anche una maggiore **flessibilità** e libertà d'uso per gli studi di progettazione e ingegneria.

L'integrazione della realtà virtuale all'interno dei flussi di lavoro BIM mediante IFX, inoltre, non solo offre vantaggi economici diretti, come la riduzione dei costi legati alle licenze software, ma genera anche numerosi benefici economici secondari. Questi benefici, sebbene più complessi da quantificare e stimare con precisione, apportano miglioramenti significativi all'efficienza operativa e alla qualità dei processi decisionali. Essi si estendono oltre la semplice riduzione delle spese di licenza, influenzando positivamente l'intero ciclo di vita del progetto:

- **Migliore collaborazione tra i team di progetto:** la VR consente ai team di progettazione e ingegneria di visualizzare i modelli in modo immersivo e dettagliato, migliorando notevolmente la comunicazione e la comprensione reciproca durante i vari livelli di coordinamento. Questa capacità di esplorare un progetto tridimensionale in un ambiente virtuale riduce gli errori di interpretazione che spesso si verificano durante le fasi di progettazione e pianificazione. Grazie alla maggiore chiarezza e alla possibilità di immergersi nei modelli in scala reale, i membri del team possono discutere e prendere decisioni con una visione più completa e accurata. Ciò si traduce in meno rielaborazioni e modifiche tardive, riducendo i tempi di esecuzione e migliorando la qualità complessiva del progetto. A lungo termine, questo porta a un contenimento dei costi associati alla risoluzione di errori o incomprensioni, che possono spesso comportare costosi ritardi o aggiustamenti in corso d'opera.
- **Revisione dei progetti in tempo reale:** un altro vantaggio chiave della VR è la possibilità di effettuare revisioni progettuali in tempo reale. Grazie alla realtà virtuale, gli altri attori coinvolti nel progetto possono esplorare virtualmente gli spazi progettati prima che la costruzione effettiva abbia inizio. Questo strumento consente una comprensione più profonda e dettagliata dell'opera in progetto. La VR riduce il rischio di modifiche tardive o di cambiamenti dell'ultimo minuto, che possono essere molto costosi se vengono implementati nelle fasi avanzate di costruzione. Attraverso la revisione

virtuale durante i relativi livelli di coordinamento, i team di progettazione BIM, guidati dal BIM Coordinator possono individuare clash o aggiustamenti necessari in anticipo, consentendo una pianificazione più accurata e mitigando il rischio di cambiamenti fuori programma, che spesso comportano notevoli sovraccosti.

Guardando oltre il periodo dei primi 5 anni, l'adozione di uno **standard** come IFX continuerebbe a generare significativi benefici economici. Poiché le licenze software rappresentano una spesa ricorrente, l'eliminazione di tali costi tramite l'adozione di uno **standard open** avrebbe un impatto economico rilevante anche sul lungo termine. La capacità di utilizzare uno standard aperto, che integri nativamente funzionalità di realtà virtuale, ridurrebbe significativamente i costi operativi annuali, liberando risorse che potrebbero essere allocate in altre aree strategiche.

Tabella 4: proiezione dei risparmi a lungo termine (10 anni)

Periodo di tempo	Totale costi VR attuali	Totale costi potenziali OpenVR	Risparmio complessivo
5 anni	€72.800	€8.800	€68.000
10 anni	€364.000	12.800	€351.200

In conclusione, si può affermare che l'integrazione della VR nei flussi di lavoro BIM mediante **IFX** non solo migliora la qualità dei progetti e l'efficienza della collaborazione nel workflow BIM, ma offre anche un significativo beneficio economico nel medio-lungo periodo. Attraverso l'adozione di uno standard come IFX, che elimina i costi ricorrenti delle licenze software, gli studi di ingegneria e architettura possono ottenere un notevole risparmio nei prossimi 10 anni.

L'utilizzo della VR, combinato con uno standard gratuito e interoperabile come IFX, si dimostra una scelta **strategica** e sostenibile per il futuro della digitalizzazione nel settore delle costruzioni.

6.2 Impatto umano e resistenza al cambiamento

L'integrazione delle nuove tecnologie nei flussi di lavoro BIM rappresenta un passo inevitabile e vantaggioso per il settore delle costruzioni. In particolare, l'adozione della Realtà Virtuale (VR) come strumento di visualizzazione e progettazione collaborativa segna un importante avanzamento verso la digitalizzazione dei processi. Nonostante i molteplici benefici offerti dalla combinazione BIM-VR, quali maggiore efficienza, riduzione degli errori e miglioramento della collaborazione tra team, molte aziende devono affrontare un ulteriore ostacolo significativo: la resistenza al **cambiamento** da parte delle persone coinvolte nel processo. In psicologia, la **paura del cambiamento**, conosciuta anche come *metathesiofobia* ⁶, può essere associata a diversi fattori specifici, soprattutto nel contesto del settore delle costruzioni e nell'adozione del BIM. Questa fobia si manifesta attraverso diverse dinamiche, che riflettono la resistenza delle persone ad abbandonare i metodi consolidati, come l'uso del CAD, e ad accettare nuove metodologie, come il BIM e la Realtà Virtuale.

Questo capitolo esplora le cause di questa resistenza, analizzando il suo impatto sull'adozione delle tecnologie digitali e della VR nei processi BIM. La resistenza al cambiamento è un fenomeno ben documentato nelle scienze gestionali e sociali. Si verifica in risposta a trasformazioni rilevanti all'interno di un'organizzazione, specialmente quando tali cambiamenti richiedono nuove competenze e una **revisione dei processi di lavoro consolidati**. Nel caso specifico dell'adozione del BIM integrato con la VR, questa resistenza può derivare da vari fattori, che influenzano profondamente la capacità delle aziende di beneficiare appieno delle potenzialità della tecnologia.

Molti professionisti nel settore delle costruzioni e dell'ingegneria sono stati formati per lavorare con strumenti e processi tradizionali, come i disegni bidimensionali e le specifiche tecniche cartacee. L'introduzione del BIM-VR, che richiede l'adozione di modelli digitali tridimensionali e l'interazione in ambienti immersivi, rappresenta un cambiamento radicale che richiede una completa revisione delle pratiche professionali. Questa transizione verso un approccio digitale integrato, basato su collaborazione in tempo reale e visualizzazione immersiva, implica un cambiamento di mentalità. I tecnici con anni di esperienza nei metodi tradizionali spesso si trovano di fronte a una curva di apprendimento elevata, con il rischio di sentirsi sopraffatti da un cambiamento percepito come destabilizzante. La resistenza interna che ne deriva può rallentare il processo di adozione, creando inerzia organizzativa.

⁶ La metathesiofobia è un tipo di fobia specifica che si manifesta con la percezione di un forte stato di stress quando un individuo deve far fronte a dei cambiamenti nella propria vita quotidiana

Uno degli ostacoli principali all'adozione del BIM e della VR è la scarsità di competenze digitali. Molti professionisti del settore non hanno avuto la possibilità di sviluppare le abilità tecniche necessarie per utilizzare strumenti come software BIM o visori VR. La curva di apprendimento può essere ripida, soprattutto per chi non ha familiarità con le tecnologie digitali avanzate. Questa mancanza di competenze può creare una sensazione di insicurezza tra i dipendenti, che temono di non riuscire a gestire le nuove tecnologie con la stessa efficacia dei metodi tradizionali. La sfiducia nelle proprie **capacità tecniche** è una delle principali cause di resistenza al cambiamento, che porta a una mancata partecipazione attiva nel processo di transizione digitale.

Un altro fattore critico è la paura della sostituzione tecnologica. La digitalizzazione e l'automazione sono spesso percepite come una minaccia per i ruoli tradizionali all'interno di un'organizzazione. I dipendenti possono temere che l'adozione di strumenti come il BIM e la VR porti a una riduzione del lavoro umano o persino alla perdita del proprio impiego, con le tecnologie che sostituiscono le loro mansioni operative. Questa percezione di minaccia può alimentare la resistenza al cambiamento, rendendo difficile per le aziende implementare nuove tecnologie senza affrontare un livello significativo di opposizione interna.

L'adozione di tecnologie avanzate come il BIM e la VR comporta investimenti iniziali significativi. Le aziende devono acquistare software, attrezzature e dedicare risorse alla formazione del personale. Spesso, la resistenza al cambiamento deriva dalla **percezione** che i costi iniziali superino i benefici attesi, specialmente nelle prime fasi di implementazione, quando i risultati non sono immediatamente evidenti. Questa percezione può essere particolarmente marcata tra i dirigenti e i decision maker, che devono gestire i budget aziendali e possono essere riluttanti a investire in tecnologie di cui non percepiscono subito il ritorno economico. Questa **riluttanza** verso l'innovazione può rallentare l'adozione delle nuove tecnologie, riducendo la competitività dell'azienda nel lungo termine.

La curva del cambiamento



Il seguente grafico che rappresenta la "**Curva del Cambiamento**" o "**Curva di Transizione**", un concetto ampiamente utilizzato in **psicologia** e **scienze gestionali** per descrivere le fasi emotive e comportamentali che le persone attraversano durante un processo di cambiamento significativo. Questo modello è molto simile alla *curva di Kübler-Ross*⁷, che è usata per spiegare le reazioni emotive di fronte a una perdita, ma qui viene applicato ai cambiamenti in ambito organizzativo e personale.

La persona o il gruppo si trova in uno stato di equilibrio, operando in una situazione consolidata. Non ci sono ancora segni evidenti di cambiamento, quindi l'impatto emotivo è neutro. Quando il cambiamento viene introdotto, la prima reazione è spesso di **shock**. Si tratta di una risposta naturale all'interruzione della consueta routine. La resistenza è comune in questa fase, poiché si percepisce il cambiamento come una minaccia alla sicurezza e alla stabilità esistente.

Dopo lo shock iniziale, possono insorgere sentimenti di **rabbia** o frustrazione. Le persone possono resistere attivamente al cambiamento, esprimendo disagio o criticando le nuove procedure. Se questa resistenza persiste, si può scivolare in uno stato di **declino**, caratterizzato da un senso di impotenza e sfiducia nella possibilità che il cambiamento porti a risultati positivi.

⁷ La curva di Kübler-Ross, nota anche come il modello delle cinque fasi del lutto, descrive le reazioni emotive che le persone attraversano di fronte a una perdita o un cambiamento significativo. Le cinque fasi sono: negazione, rabbia, contrattazione, depressione, e accettazione

Con il tempo, una volta superata la fase di resistenza, le persone iniziano a esplorare le nuove modalità o idee proposte. C'è un accenno di accettazione, in cui i soggetti cominciano a intravedere i potenziali benefici del cambiamento. Questa fase è spesso caratterizzata da un atteggiamento più costruttivo e curioso.

Infine, si entra in una fase di **ricostruzione** o adattamento, dove il cambiamento viene pienamente accettato e integrato nelle abitudini quotidiane. Questo porta a un ritorno alla normalità, ma su un livello più elevato di efficienza o benessere rispetto al punto di partenza, definito come "**Business as usual**" nel grafico.

Quali strumenti e quali strategie può adottare un manager per far raggiungere più velocemente lo stato di "Business as usual" al suo team?

- Applicare i principi del **Design Thinking** aiuta a risolvere i problemi legati all'adozione delle nuove tecnologie con un approccio centrato sugli utenti. Coinvolgere il team in sessioni di **brainstorming** creative aiuta a trovare soluzioni innovative alle sfide quotidiane.
- Organizzare **workshop** pratici e immersivi, dove il team può sperimentare direttamente le nuove tecnologie o procedure, aiuta a ridurre la resistenza al cambiamento. I workshop consentono di testare il nuovo flusso di lavoro in un ambiente sicuro, risolvendo i problemi in tempo reale. Creare workshop interni mirati all'adozione pratica delle tecnologie BIM e VR, con casi studio concreti e simulazioni.
- Utilizzare il **microlearning** consiste nel somministrare piccoli moduli di formazione che richiedono pochi minuti al giorno. Questa metodologia consente al team di apprendere gradualmente nuove competenze senza sovraccaricare il carico di lavoro giornaliero. Il microlearning è particolarmente efficace per l'adozione di nuove tecnologie come il BIM e la VR, in quanto suddivide l'apprendimento in piccole parti gestibili.
- Il coaching tra pari (**peer-to-peer**) consente ai membri del team che hanno già familiarità con le nuove tecnologie di formare i loro colleghi. Questo approccio riduce la pressione derivante dall'apprendimento tradizionale e rende più facile l'integrazione di nuovi strumenti o metodologie. Inoltre, costruisce una cultura di collaborazione e supporto reciproco.

7 Conclusioni

7.1 Risultati e prospettive future

L'integrazione tra BIM e VR rappresenta una sfida complessa ed ambiziosa per il futuro del settore AEC. Come emerso da questa ricerca, lo standard **IFC**, pur essendo il riferimento per l'interoperabilità nel BIM, non è stato concepito per supportare nativamente le funzionalità immersive della realtà virtuale. Questo ha determinato, fino ad oggi, un'interazione **limitata** tra BIM e VR, relegando quest'ultima a un ruolo puramente visuale e poco efficace nei processi di progettazione e coordinamento. Ad oggi, l'unica possibilità di visualizzare un modello IFC in un ambiente **VR** è quella di importarlo in software di realtà virtuale, che ne leggono solo la geometria e raramente riescono a gestire dati strutturati in modo completo.

Questa limitazione porta a un bivio: o si continua a considerare la VR come un mero strumento di presentazione alla fine del processo progettuale, offrendo un'esperienza esclusivamente cinematografica priva di reale valore operativo, oppure si abbraccia un cambiamento più ambizioso, integrando la VR in tutti i livelli di coordinamento del **workflow BIM**. Quest'ultima strada permetterebbe di trasformare le attività di model checking nei vari livelli di coordinamento in esperienze interattive e condivise in cui ogni membro dei team, guidato dal BIM Coordinator, può **visualizzare** e analizzare interferenze, errori e criticità direttamente all'interno del modello virtuale comprendendo realmente il reale funzionamento dell'opera.

Attualmente, le **software houses** specializzate in VR si concentrano principalmente sul settore videoludico, rendendo difficile un loro immediato ingresso nel **mercato BIM** senza una chiara **visione** economico-strategica. Convincerle a gettarsi nel mercato BIM sviluppando soluzioni native per la lettura degli IFC potrebbe essere un obiettivo valido nel lungo periodo, ma nel breve e medio termine questa strada presenterebbe per loro ostacoli significativi in termini di fiducia nell'investimento.

È proprio qui che si inserisce il **contributo** di questa ricerca. Non si tratta di escludere le software house VR dal processo di integrazione con il BIM, bensì di proporre una strategia di integrazione intelligente tra BIM e VR più realizzabile e sostenibile nel medio periodo. La soluzione più efficace, infatti, non è attendere che il mercato VR si adatti alle esigenze del settore AEC, ma agire direttamente dall'interno del mondo BIM per colmare il divario tecnologico tra i due ambiti. In questo scenario, l'adozione di un nuovo standard, **l'IFX**, si pone come una strategia concreta per superare le attuali limitazioni dell'IFC e rendere la VR un elemento attivo nel **workflow BIM**. Questo nuovo standard consentirebbe di eliminare la necessità di importazioni dei modelli per il loro utilizzo in ambienti immersivi, ottimizzando tempi e risorse economiche.

8. Fonti

8.1 Bibliografia principale

Tesi di laurea e ricerche accademiche

- Rossi, F. (2021). *Integrazione di BIM e Realtà Virtuale nei processi di progettazione architettonica: Opportunità e limiti tecnologici*. Politecnico di Milano.
- Bianchi, L. (2020). *BIM e Realtà Virtuale per la gestione del ciclo di vita dell'opera: Sperimentazione di un modello digitale immersivo per il Facility Management*. Università di Bologna.

Articoli accademici e conferenze

- Gu, N., & London, K. (2010). "Understanding and Facilitating BIM Adoption in the AEC Industry." *Automation in Construction*, 19(8), 988-999.
- Liu, Z., Zhang, J., Ma, L., & Liu, Y. (2022). "Integrating Virtual Reality and BIM for Collaborative Design and Construction Simulation." *Journal of Computing in Civil Engineering*, 36(3), 04022022.
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.L., & Wang, X. (2018). "A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training." *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 23, 209-230.

Normative e standard internazionali

- ISO 16739-1:2018 - *Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries*.
- ISO 19650-1:2018 - *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*.
- buildingSMART International (2020). *IFC 4.3 Schema Documentation*.

8.2 Sitografia principale

Portali e risorse su BIM e VR

- buildingSMART International: <https://www.buildingsmart.org>
- ISO Standards on BIM: <https://www.iso.org/standard/70303.html>
- Autodesk BIM Blog: <https://www.autodesk.com/bim>
- Graphisoft (Archicad BIM Technology): <https://graphisoft.com>

- Unity for AEC and VR: <https://unity.com/solutions/architecture-engineering-construction>
- Unreal Engine for Architecture: <https://www.unrealengine.com/en-US/architecture>
- Bentley Systems (Digital Twin & BIM): <https://www.bentley.com>

Portali informativi e riviste tecniche su BIM e AEC

- Ingenio: <https://www.ingenio-web.it>
- BIMportale: <https://www.bimportale.com>
- ADHox: <https://www.adhox.it>
- BibLus: <https://biblus.acca.it>

Risorse accademiche e paper scientifici

- ResearchGate (paper scientifici su BIM e VR): <https://www.researchgate.net>
- IEEE Xplore Digital Library (articoli scientifici su BIM-VR): <https://ieeexplore.ieee.org>

Ringraziamenti

Un ringraziamento a tutti coloro che hanno seguito lo sviluppo di questa ricerca, in particolare ai miei docenti di riferimento della Scuola Master F.lli Pesenti del Politecnico di Milano *Paola Ronca* e *Giovanni Franchi*.

Un ulteriore ringraziamento va anche a *Riccardo Pagani*, architetto specializzato nella gestione di processi BIM, per l'interesse mostrato verso il mio lavoro e la disponibilità nel seguirmi durante lo sviluppo di quest'ultimo.