



ET4Digital: Capacitación de formadores para la innovación digital en el ecosistema de la construcción

Entrega 3.1

Configuración de un demostrador innovador para el ecosistema digital

Autor(es)	
PP	Universidad de Bolonia

Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados son, sin embargo, exclusivamente los de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Agencia Ejecutiva en el ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA se hacen responsables de ellos.

Referencias técnicas

Acrónimo del proyecto	ET4D
Título del proyecto	<i>Capacitación de formadores para la innovación digital en el ecosistema de la construcción</i>
Coordinador del proyecto	IIPLE
Duración del proyecto	24 meses

Entrega n.º	3.1
Nivel de difusión ¹	PU
Paquete de trabajo	3
Tarea	3.1
Beneficiario principal	Universidad de Bolonia
Beneficiario(s) colaborador(es)	
Fecha límite de entrega	31/10/2025
Fecha real de presentación	31/10/2025

¹ PU = Público

PP = Restringido a otros participantes en el programa (incluidos los servicios de la Comisión)

RE = Restringido a un grupo especificado por el consorcio (incluidos los servicios de la Comisión)

CO = Confidencial, solo para miembros del consorcio (incluidos los servicios de la Comisión)

Historial del documento

V	Fecha	Beneficiario	Autor/es
1	30/10/25	Unibo	Marco Bragadin, Andrea Ballabeni, Benedetta Balzani, Shrinija Poudel
2	02/12/25	Unibo	Marco Bragadin, Andrea Ballabeni, Benedetta Balzani, Shrinija Poudel



Co-funded by
the European Union

3			
4			

Índice

Índice

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 OBJETIVO DE ESTE DOCUMENTO.....	6
2. GEMELO DIGITAL DE CONSTRUCCIÓN: DEMOSTRADOR CDT	8
2.1 TRANSICIÓN DEL ANÁLISIS DIGITAL AL DESARROLLO DEL DEMOSTRADOR.....	8
2.1.1 <i>Revisión bibliográfica</i>	8
2.2 METODOLOGÍA: GENERACIÓN N.º 2 DEL GEMELO DIGITAL PARA EL PROYECTO PILOTO DE CONSTRUCCIÓN	11
2.2.1 <i>Construcción piloto y estudio del emplazamiento</i>	12
2.2.2 <i>Desarrollo del modelo BIM 5D</i>	13
2.2.3 <i>Selección de la plataforma digital</i>	16
2.2.4 <i>Características organizativas de la plataforma</i>	16
2.2.5 <i>Visualización del gemelo digital</i>	20
2.2.6 <i>Desarrollo del demostrador: dirección web, resultados y directrices para el usuario</i>	22
3. CURSO DE FORMACIÓN TRANSNACIONAL.....	22

Resumen

ET4Digital – Empowering Trainers for Digital Innovation in construction Ecosystem (Capacitación de formadores para la innovación digital en el ecosistema de la construcción) se dedica a mejorar la calidad, la eficacia y la innovación en la formación de formadores y profesores del sector de la construcción para la integración perfecta de las tecnologías digitales. La iniciativa implica la creación de herramientas innovadoras y un programa integral de desarrollo de capacidades. Los formadores utilizarán un demostrador de tecnologías digitales especialmente diseñado, lo que fomentará la experiencia práctica. El proyecto tiene como objetivo superar las barreras que impiden a las pymes adoptar las tecnologías digitales mediante el diseño conjunto, la prueba y la validación de programas de formación. El objetivo final es capacitar a los formadores para que lideren la transición digital en el sector de la construcción, aprovechando su importante pero poco explorado potencial.

Aunque la innovación digital ha crecido significativamente en los últimos años, a las empresas les resulta difícil explotar eficazmente este enorme potencial. En cambio, la digitalización en el sector de la construcción puede ofrecer importantes oportunidades para toda la cadena de valor, no solo mejorando las prácticas existentes, sino también integrando tecnologías y herramientas disruptivas que pueden dar lugar a nuevos procesos, modelos de negocio, materiales y soluciones. Es importante subrayar que la combinación de tecnologías digitales permite maximizar los beneficios asociados a la transformación digital. Por ejemplo, BIM, IoT, realidad aumentada y gemelos digitales están profundamente interconectados, ya que se refieren a tecnologías que se potencian entre sí y pueden considerarse como diferentes fases o elementos de la misma transformación digital.

Como demuestran varias investigaciones europeas y nacionales, el sector de la construcción se encuentra muy por detrás de otros sectores industriales en lo que respecta a la digitalización.

Hasta la fecha, el sector de la construcción europeo se enfrenta a retos que obstaculizan su competitividad. Entre ellos se encuentran:

- Escasez de mano de obra
- La falta de competencias digitales en algunos países
- Falta de interés entre los empresarios y los trabajadores por la digitalización de los procesos
- Falta de motivación por parte de los jóvenes para trabajar en el sector
- Necesidad de aumentar la productividad y, al mismo tiempo, mejorar la calidad, la rentabilidad y la ejecución de los proyectos
- Altos costes relacionados con las tecnologías y las herramientas digitales

Por lo tanto, el objetivo específico del proyecto es ofrecer programas personalizados a formadores profesionales, con el fin de dotarles de nuevas estrategias, herramientas y competencias digitales. Como intermediarios, estos formadores desempeñan un papel crucial a la hora de demostrar a las empresas y a los trabajadores las ventajas de la digitalización y los resultados positivos que puede reportar. Este enfoque facilita la mejora de las competencias de los trabajadores en materia de digitalización, haciendo hincapié en que los materiales y técnicas tradicionales pueden complementarse de forma innovadora con las tecnologías digitales, lo que se traduce en una reducción de los costes y del tiempo perdido.

Además, el mercado laboral evoluciona continuamente, configurando los perfiles y las competencias que los trabajadores deben poseer para responder a las demandas de las empresas y los empleadores. Al actualizar

los perfiles profesionales requeridos en el sector de la construcción y digitalizar sus procesos, podemos atraer a trabajadores jóvenes y cualificados a un campo de trabajo que todavía se considera «tradicional».

1. Introducción

1.1 Objetivo de este documento

El proyecto ET4Digital tiene como objetivo reforzar la capacidad de los formadores y profesores del sector de la construcción para apoyar la transición digital de las pymes mediante herramientas de formación y metodologías de aprendizaje innovadoras. En un contexto en el que la adopción de las tecnologías digitales en la construcción se encuentra todavía en una fase inicial, ET4Digital ofrece una respuesta europea coordinada mediante el desarrollo de instrumentos prácticos, entornos de aprendizaje experiencial y un programa transnacional de desarrollo de capacidades. El proyecto se centra en tecnologías facilitadoras clave, como el modelado de información de construcción (BIM), las soluciones de gemelos digitales, la realidad virtual (RV) y otras herramientas digitales, que pueden mejorar significativamente la eficacia de la formación y fomentar la innovación en el sector.

En este marco, el paquete de trabajo 3, «Nuevo enfoque pedagógico para la transición digital», desempeña un papel central en la definición, el desarrollo y la prueba de un modelo pedagógico innovador para formadores. El WP3 introduce un enfoque de aprendizaje basado en la práctica y mejorado por la tecnología que moviliza un demostrador digital para permitir a los formadores interactuar directamente con herramientas digitales, simular procesos de construcción realistas y experimentar nuevas formas de aprendizaje interactivo e inmersivo. Los resultados del WP3 constituyen la base del posterior programa de desarrollo de capacidades que se elaborará y validará en el WP4.

El entregable 3.1 representa el primer resultado del WP3 y ofrece una descripción del demostrador digital creado con fines educativos. El demostrador integra recursos de modelización basados en BIM y Digital Twin para recrear un entorno de formación realista e interactivo. Su objetivo es permitir a los formadores explorar los procesos de construcción digital, comprender el potencial de las tecnologías implicadas y facilitar la transferencia de conocimientos a las pymes. Este informe describe los objetivos del demostrador, su estructura conceptual, sus componentes tecnológicos, su proceso de implementación y su contribución prevista al modelo general.

El desarrollo del demostrador se basa en el trabajo analítico realizado en el WP2, que se centró en la creación de un marco de tecnologías digitales aplicables al sector de la construcción y en la cartografía de las competencias digitales de los formadores. Las funcionalidades integradas en el demostrador responden directamente a las necesidades identificadas en el WP2 y garantizan la continuidad entre la fase de análisis y el desarrollo metodológico previsto en el WP3 para apoyar la adopción de tecnologías digitales en las pymes de la construcción.

Las siguientes secciones de este documento ofrecen una visión general completa del demostrador, describiendo su estructura, flujo de trabajo y funcionalidades. El documento también destaca cómo se



Co-funded by
the European Union

utilizará el demostrador dentro del nuevo enfoque docente y cómo se incorporará a las actividades de formación y las directrices que se desarrollarán en el WP3 y el WP4. Por lo tanto, esta introducción establece el marco para comprender el papel del demostrador como elemento clave para la formación digital experiencial en el sector de la construcción.

2. Gemelo digital de la construcción: demostrador CDT

2.1 Transición del análisis digital al desarrollo del demostrador

El WP2 del proyecto ET4D tenía como objetivo analizar la situación actual del sector de la construcción, identificar las lagunas de conocimientos y competencias entre los profesionales y los trabajadores y determinar las habilidades que necesitan los formadores para satisfacer las necesidades de las pymes. Esta fase sirvió como estudio de mercado y sentó las bases para las fases posteriores, centradas en el diseño del demostrador y la formación de los formadores.

El WP3 se basó en estas ideas y se centró en el desarrollo de nuevos enfoques pedagógicos para apoyar la transición digital en la construcción. Los objetivos específicos y los resultados esperados incluían:

- Un demostrador funcional de gemelo digital de la construcción (CDT);
- Un modelo piloto de CDT de una obra de construcción con BIM, IoT, sensores y, si procede, RV;
- Un curso de formación para formadores que puedan aplicar a sus proyectos docentes o de pymes;
- Directrices para la replicabilidad del demostrador en las instituciones asociadas, adaptadas a su idioma nacional.

Basándose en los conocimientos del WP2 y en consonancia con los objetivos del WP3, la primera fase consistió en una revisión exhaustiva de la bibliografía. El objetivo de este análisis era identificar las metodologías, tecnologías y mejores prácticas existentes que pudieran ayudar en el diseño del demostrador del gemelo digital de la construcción y los módulos de formación asociados.

2.1.1 Revisión bibliográfica

La tecnología Digital Twin (DT) ha surgido como una herramienta transformadora en el sector de la construcción, ya que permite la sincronización de los activos físicos con sus homólogos virtuales. Este enfoque proporciona supervisión en tiempo real, información predictiva y optimización del rendimiento a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La integración del DT en la construcción ofrece varias ventajas, entre ellas una mejor visualización del proyecto, el seguimiento del progreso en tiempo real y la capacidad de simular y optimizar los procesos de construcción.

Varios estudios destacan cómo la integración de DT y BIM puede contribuir a una gestión más sostenible y eficiente de los activos industriales y de construcción, mejorando el uso de los recursos y facilitando una mejor toma de decisiones. Sin embargo, retos como la interoperabilidad de los datos, la estandarización y el coste de la implementación siguen siendo obstáculos importantes para su adopción.

Un tema recurrente es la idea de un enfoque de evolución progresiva hacia el gemelo digital de la construcción (CDT) en el sector de la construcción, observando que aún existe una falta de conocimiento sobre la posibilidad de implementar tecnologías avanzadas en las generaciones superiores. Se parte de la hipótesis de que la implementación del DT en el ciclo de vida de un edificio será gradual, lo que permitirá la fusión de modelos virtuales y sensores IoT en una plataforma web semántica común.

Evolución y definición del gemelo digital (DT)

El primer gemelo digital, aunque no se denominaba así, se originó en la NASA en la década de 1960 como un medio para modelar las misiones Apolo. La NASA utilizó simuladores para evaluar el fallo de los tanques de oxígeno del Apolo 13, pero el concepto de DT es de David Gelernter (1991) en el libro *Mirror Worlds*, mientras que el nombre de gemelo digital (gemelo virtual) es de Hernández y Hernández (1997). El concepto de gemelo digital es de Michael Grieves (2002) del centro de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) de la Universidad de Michigan:

El gemelo digital corresponde a la réplica digital de cualquier producto físico. Consta de tres partes:

1. elemento físico en el espacio real;
2. elemento virtual en el espacio virtual;
3. datos e información que proporcionan las conexiones entre el sistema físico y el virtual.

El gemelo digital no es una copia del producto físico (por ejemplo, un modelo 3D), sino que se basa en la interacción de datos e información. Un gemelo digital (DT) es una representación digital de una entidad objetivo, un proyecto de construcción, con conexiones de datos que pueden permitir la convergencia entre los estados físico y digital a una velocidad de sincronización adecuada.

En el entorno del gemelo digital (DTE) puede haber un prototipo de gemelo digital, una instancia de gemelo digital y un agregado de gemelos digitales (Grieves, Vickers, 2016), como se muestra en la siguiente tabla 1:

Prototipo gemelo digital (DTP),	Diseño de productos, incluyendo gráficos, especificaciones técnicas BIM en 3D, listas de cantidades y diagramas de procesos de producción, para la producción de prototipos.
Instancia gemela digital (DTI)	es el gemelo digital de cada uno de los elementos del producto al que el DT permanece conectado a lo largo de su ciclo de vida una vez fabricado. Incluye modelos geométricos y de rendimiento, otros datos sobre el rendimiento pasado y presente a través de sensores y predicciones futuras.
Agregado gemelo digital (DTA)	es la agregación de DTI cuyos datos e información pueden utilizarse para consultar el producto físico, para simulaciones y previsiones.

Tabla 1. Categorización de gemelos digitales según Grieves, Vickers (2016)

Otra categorización se refiere al diferente nivel de flujo de datos e información que puede tener lugar entre la parte física y la parte digital, que desarrolla un modelo digital, una sombra digital o un gemelo digital (Kritzinger et alii, 2018).

	Flujo de datos del objeto físico al objeto digital	Flujo de datos del objeto digital al objeto físico
Modelo digital	Manual	Manual

Sombra digital	Automático	Manual
Gemelo digital	Automático	Automático

Tabla 2, Clasificación de gemelos digitales según Kritzing et alii (2018)

Hay tres generaciones de DT (Boje et alii, 2020):

- La generación n.º 1, plataformas de supervisión, consiste en una versión mejorada del BIM en la obra hasta la fecha.
- La generación n.º 2, plataformas semánticas inteligentes, consiste en plataformas de monitorización mejoradas con inteligencia limitada debido a los modelos BIM integrados y los dispositivos IoT, formando así una base de conocimientos. Los algoritmos independientes basados en IA permiten a los actores humanos capacitados simular y pronosticar situaciones y rendimientos futuros.
- La generación n.º 3, plataformas sociotécnicas impulsadas por agentes, representa un DT totalmente semántico, con el uso de agentes habilitados para la IA. El aprendizaje automático, el aprendizaje profundo, la minería de datos y las capacidades de análisis crean un DT autosuficiente, que se actualiza y aprende por sí mismo, que se relaciona con los entornos sociales y físicos, y que solo requiere supervisión humana.

Aunque esta progresión proporciona una estructura útil, algunos autores sostienen que esta clasificación tiene algunas limitaciones clave, que son las siguientes (Sacks, Brilakis, Pikas, Xie, Girolami, 2020). En primer lugar, la DT se considera solo una evolución de los modelos BIM, por lo que hay una falta de conceptualización de los procesos de construcción y el modelado; finalmente, la DT se considera un sistema de apoyo a la toma de decisiones para proyectos de construcción, cuando en realidad representa un enfoque holístico innovador de la gestión de la construcción. Por lo tanto, la DT ET4 debería dar apoyo a estos procesos de gestión de proyectos en todas las fases del PDCA con el objetivo de producir un sistema Digital Twin de primera generación, tal y como lo definen Boje et alii (2020):

Las investigaciones paralelas sobre los sistemas de producción ciberfísicos (CPPS) hacen hincapié en la importancia de combinar componentes físicos, como maquinaria y sensores, con tecnologías digitales, como el IoT y la computación en la nube, para lograr la optimización de los procesos en tiempo real.

La integración de los CPPS con la tecnología DT es esencial para mejorar la eficiencia operativa, permitir el mantenimiento predictivo, reducir el tiempo de inactividad y optimizar la asignación de recursos. Sin embargo, para aprovechar plenamente su potencial, es necesario abordar cuestiones como los riesgos de ciberseguridad y la complejidad de la implementación de los CPPS en entornos de construcción dinámicos.

La convergencia de las tecnologías DT y CPPS ofrece un marco integral para gestionar proyectos de construcción en tiempo real. Esta integración facilita la sincronización de los modelos BIM con los datos en tiempo real de los CPPS, lo que permite a los gestores de proyectos abordar los retos de forma proactiva. Este enfoque ha sido fundamental para reducir los retrasos en los proyectos y mejorar la eficiencia general. La simulación y la optimización son componentes clave de este marco integrado.

Los modelos DT pueden utilizarse para simular diversos escenarios de construcción, lo que permite a las partes interesadas identificar las soluciones óptimas antes de la implementación. La relación entre el gemelo

digital y el gemelo físico puede incluso revolucionar la organización del proceso de construcción tal y como lo conocemos (Brilakis, Sacks et alii, 2020).

A pesar de su potencial, las tecnologías DT y CPPS se enfrentan a varios retos en el sector de la construcción. Entre ellos se encuentran los elevados costes de implementación, la necesidad de profesionales cualificados y la falta de protocolos estandarizados para la integración de datos. Sin embargo, abordar estos retos podría abrir importantes oportunidades, especialmente en las áreas de sostenibilidad y eficiencia.

Las investigaciones futuras deberían centrarse en mejorar la interoperabilidad de los datos y desarrollar soluciones escalables para integrar las tecnologías DT y CPPS. La adopción de tecnologías emergentes, como la computación periférica y la cadena de bloques, podría reforzar aún más las capacidades de estos sistemas. Tras la revisión bibliográfica, el paso siguiente consistió en el diseño y desarrollo de una plataforma digital que sirviera de apoyo a los formadores. Al mismo tiempo, se crearon directrices y recursos de apoyo para que las instituciones asociadas pudieran replicar el demostrador e implementar la plataforma en sus propios contextos educativos y operativos.

2.2 Metodología: generación n.º 2 del gemelo digital para el proyecto piloto de construcción

El ET4D se propuso desarrollar un demostrador de gemelos digitales para proyectos de construcción, diseñado para permitir el control de la producción en tiempo real a través de un gemelo digital que ofrece una visión transparente del proceso de producción. En consonancia con el enfoque del proyecto de apoyar a las pymes, se fomentó enérgicamente el uso de herramientas abiertas y gratuitas para minimizar las barreras económicas a la digitalización.

Un gemelo digital es una representación digital de una entidad objetivo, la obra de construcción y sus procesos, respaldada por conexiones de datos que pueden sincronizar los gemelos físicos y digitales con una frecuencia adecuada. Este avance tecnológico ha superado la importancia del control de proyectos al ofrecer la posibilidad de interconectar datos de diferentes modelos y conjuntos de datos. Por lo tanto, el control del proyecto puede mejorarse mediante la integración de la modelización de las operaciones de construcción (BIM 3D) interconectada con un modelo de programación que forma un BIM 4D. En este marco, el gemelo digital ET4D se concibió para apoyar los procesos de gestión de proyectos en todas las fases del PDCA, con el objetivo de ofrecer un sistema de gemelos digitales de segunda generación.

El proyecto piloto de construcción ET4D se llevó a cabo en la escuela de formación profesional de construcción IIPLE de Bolonia, lo que proporcionó un entorno físico real en el que desarrollar y validar el demostrador. Para la creación del gemelo digital, se utilizó una plataforma digital abierta existente, Open Project BIM, para la implementación del CDT. En realidad, en el proyecto ET4 Digital se implementaron todos los componentes básicos de un gemelo digital para la construcción, con el fin de permitir una implementación directa por parte de las pymes.

Los componentes básicos son los siguientes:

Gemelo físico:

- Proyecto piloto de construcción real en fase de implementación por parte de los estudiantes de IIPLE;

Gemelo digital:

- Modelización del emplazamiento con BIM del edificio en construcción;
- Procesos y herramientas de control del proyecto (WBS, BOQ, calendario de construcción).
- Plataforma digital Open BIM para entornos BIM.

Flujo de datos e información:

- Sistema de modelado 3D y levantamiento manual in situ
- Datos automáticos de sensores ambientales
- Fotografías de la cámara web

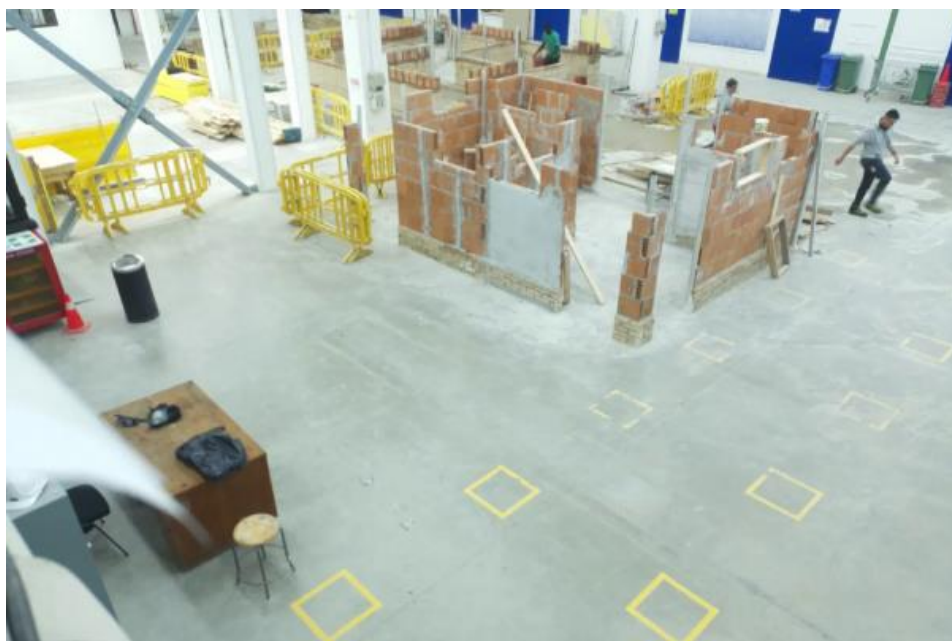
2.2.1 Construcción piloto y estudio del emplazamiento



Se realizó una visita al centro de formación de construcción del IIPLE para examinar el tipo de tecnología, la magnitud de la obra y el contenido del trabajo utilizado para formar a las nuevas generaciones de mano de obra cualificada. Durante los debates celebrados in situ en el edificio maqueta existente, construido por los alumnos como parte de su formación, se puso de manifiesto que el curso sigue métodos de enseñanza tradicionales, basándose en gran medida en los conocimientos empíricos del formador y careciendo de planes redactados formalmente o de herramientas de apoyo digitales.

El gemelo físico utilizado en el programa de formación consiste en un proyecto de construcción muy sencillo: una maqueta de una casa de una planta compuesta por cuatro habitaciones y una escalera, construida por estudiantes de secundaria. La estructura no tiene techo y solo incluye acabados básicos. Los elementos clave de la construcción son las paredes de mampostería de ladrillo realizadas con dos tipos diferentes de unidades, secciones de pared que incorporan aberturas para puertas y ventanas con marcos de madera, suelos de la planta baja y acabados de yeso.

La maqueta también está diseñada para apoyar múltiples etapas de aprendizaje, no solo la fase de construcción, sino también actividades de demolición parcial y completa, de modo que los estudiantes puedan realizar diferentes operaciones prácticas en un entorno controlado.



2.2.2 Desarrollo del modelo BIM 5D

La representación digital del edificio piloto se desarrolló utilizando Revit®, lo que proporcionó un modelo de información de construcción (BIM) detallado que permite tanto la visualización como el control del proyecto. El modelo BIM 3D refleja las condiciones observadas durante las visitas al emplazamiento y representa un edificio a pequeña escala con unas dimensiones de 567 × 413 cm (fig. 1). A pesar de su tamaño limitado, la estructura piloto incluye múltiples tipologías de paredes y dos tipos de acabados de suelo, lo que la convierte en un caso manejable pero suficientemente articulado para fines de formación.

Para organizar el proyecto, el flujo de trabajo se estructuró en cuatro fases:

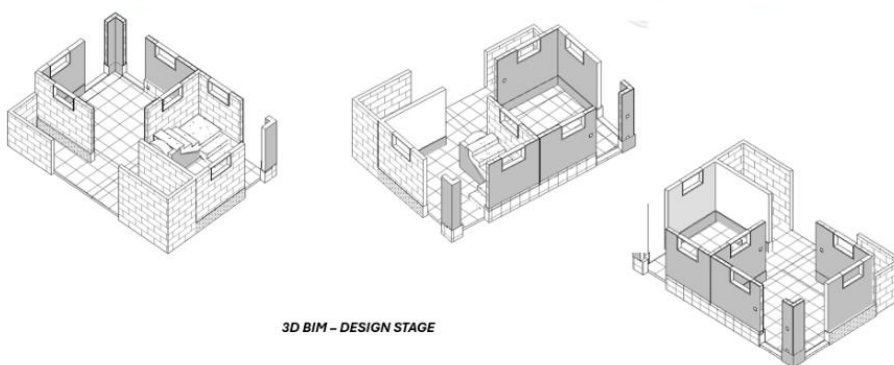
- Construcción inicial
- Demolición parcial
- Finalización

- Desmantelamiento

La fase de construcción inicial abarca todas las actividades desde el inicio hasta la erección de muros de mampostería de ladrillo, la instalación de suelos y baldosas, la construcción de la escalera y el enlucido de las superficies interiores.

En la parte de demolición parcial, se eliminan las alas derecha y delantera del edificio, mientras que la fase de finalización corresponde a la demolición de todas las superficies verticales. Por último, la fase de desmantelamiento implica la demolición completa del edificio y la limpieza del emplazamiento.

Generation #2 CDT for the ET4 pilot: BIM



Item No.	Sub Item No.	Rate Code	WBS Code	Description	lit of Meas	Number	Length	Width	Height	Quantity	Total Quantity	Rate (€)	Amount	Labour %
1				Brick masonry										
		A05.007.005.a		Thickness 12 cm	m ³									
	1		A.01.1	Room1	m ³	1	9.09	0.1	1.58	14.3622	30.2067	58.90 €	1,779.17 €	45
	2		A.01.1	Room 2	m ³	1	5.91	0.1	1.58	9.3378				
	3		A.01.1	Room 3	m ³	1	5.29	0.1	1.23	6.5067				
		A05.004.010.b		with three-hole bricks (5 x 14 x 28 cm)	m ³									
	1		A.01.2	Room1	m ³	1	11.37	0.14	0.37	4.2069	5.8201	99.58 €	579.57 €	38
	2		A.01.2	Room 2	m ³	1	4.36	0.14	0.37	1.6132				
3		A05.004.005.a		Stairs with common solid bricks	m ³	1				1.16	1.16	840.18 €	974.61 €	32
			A.02.2	Stairs	m ³	1								
4		A20.001.005.a		Preparation of Wall Substrata										
				Preparation of wall surfaces:										
	1			Room 1	m ²	1	3.91	0.16	1.9	7.429	14.611	2.39 €	5.59 €	46
	2			Room 2	m ²	1	3.78	0.16	1.9	7.182				
5		A08.004.005.d		Plaster with cement mortar type 32.5 R and sand, composed of 400 kg of cement per 1.00 m ³ of sand										
	1			Wall 1	m ²	2	1.6		1.58	5.056	13.825	26.67 €	368.71 €	70
	2			Wall 2	m ²	1	2		1.58	3.16				
	3			Wall 3	m ²	1	1.77		1.58	2.7966				
	4			Wall 4	m ²	1	1.78		1.58	2.8124				
		A20.010.005.a		based on vinyl versatic resins, titanium dioxide and calcium carbonate										
				Room 1	m ²	1	3.91	0.16	1.9	7.429	14.611	8.28 €	120.98 €	66
				Room 2	m ²	1	3.78	0.16	1.9	7.182				
6		A16.013		Wall Tiles										
				Colored porcelain stoneware covering in rectified tiles obtained by pressing, compliant with the UNI EN 14411 standard, water absorption class B1a UGL, installed with suitable adhesive, including cuts, waste and joint filling, excluding special pieces:							0.8917	69.49 €	61.96 €	42
	1	A16.013.015.b		Room 1 Small tiles	sq m	1	0.69	0	0.37	0.2553				
	2			Room 1 Long tiles	sq m	1	1.6	0	0.37	0.592				
	3			Room 2 Long Tiles	sq m	1	0.12	0	0.37	0.0444				
7				Floor Tiles	m									
	1	A15.016.015.c	A.04	45 x 45 cm, thickness 9 mm	m	1	5.5	0.06	3.75	20.625	20.625	97.89 €	1,193.98 €	38
8				Site Fences										
		F01.025.025.b	A.00.1	Fences height 1.20 m; cost of using materials for the entire duration of the works	m	30				30	30	2.00 €	60.00 €	
				Partial Demolition										
				Demolition of masonry, including vaulted, thicker than one lead, carried out by hand, including sorting and setting aside of recycled material for reuse:										
9				Brick masonry	m ³									
	1		A.05.1	Wall 1	m ³	1	2.36	0.12	1.95	0.57	1.86	71.24 €	132.26 €	78
	2		A.05.1	Wall 2	m ³	1	2.00	0.14	1.95	0.53				
	3		A.05.1	Wall 3	m ³	1	2.76	0.10	1.95	0.54				
	4		A.05.1	Wall 4	m ³	1	2.52	0.07	1.23	0.22				
10				Demolition of ceramic tile flooring, including the sub-floor up to 5 cm thick, laid using mortar or glue										
	1		A.05.3	60 x 60 cm, natural or bush-hammered, thickness 10 mm	m ²	6	0.60	0.60	0.01	0.36	2.16	9.88 €	21.23 €	78

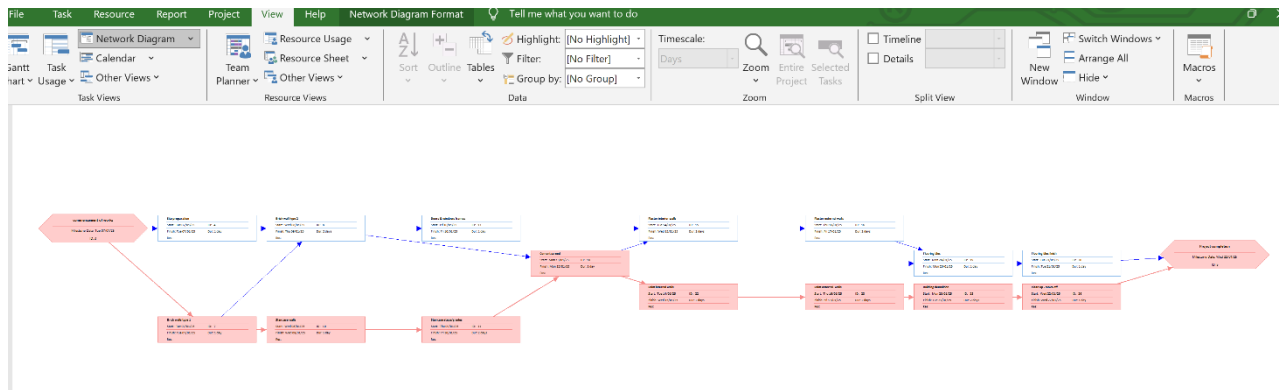


Fig. 2 Lista de cantidades

Fig. 3 Calendario del proyecto con MS Project

Dentro del marco de control del proyecto, se crearon la estructura de desglose del trabajo (WBS), la lista de cantidades (BOQ) y el calendario de construcción del proyecto piloto, que posteriormente se cargaron en la plataforma.

La EDT se desarrolló en consonancia con el calendario académico real e incorporó información como el número de estudiantes participantes y la duración real de su presencia en el emplazamiento, según lo facilitado por el IIPLE.

Una vez finalizado, el WBS se importó a MS Project® para generar tanto el diagrama de Gantt como el diagrama de red del proyecto.

Las operaciones de cálculo de cantidades se realizaron directamente desde el modelo BIM para extraer las medidas de los componentes y productos de construcción, junto con sus tarifas globales asociadas (5D BIM). Estas cantidades se exportaron a una hoja de Excel para producir el BOQ con precios (Fig. 2), que luego se vinculó a la lista de precios oficial regional de Emilia-Romagna (RER) para determinar el calendario de tarifas y, en consecuencia, el coste total estimado del proyecto como la suma de las tarifas del paquete de trabajo. Este proceso también permitió simular los pagos por etapas mediante una técnica WBS para contratos a tanto alzado, en los que los porcentajes de pago se ajustan al valor de los paquetes de trabajo completados.

Se creó y actualizó progresivamente el calendario de construcción para reflejar la secuencia de las fases del proyecto, estimando la duración de las actividades a partir de las referencias de días de trabajo del conjunto de datos de la RER, y se estructuró el calendario de referencia utilizando MS Project® (fig. 3).

2.2.3 Selección de la plataforma digital

Los criterios principales para la selección de la plataforma fueron la capacidad de las plataformas para proporcionar acceso abierto, especialmente para organizaciones con fines educativos, lo que se aplicaba a todos los participantes y al objetivo del proyecto. El otro criterio fue la capacidad de la plataforma para visualizar los modelos BIM sin necesidad de utilizar software de modelado BIM de alta tecnología. Esto permite a todos los socios, formadores y estudiantes acceder e interpretar el proyecto de construcción, independientemente de sus conocimientos técnicos o de los recursos de que dispongan.

La selección de la plataforma de demostración fue realizada por el responsable de TI, que evaluó los requisitos del proyecto con diferentes alternativas tecnológicas. Durante las fases iniciales del desarrollo del demostrador, se probó brevemente un prototipo BLE de Unibo (<http://ble.unibo.it/>), desarrollado para el proyecto BENEDICT, con el fin de apoyar la integración de herramientas digitales y facilitar el intercambio de datos (<http://ble.unibo.it/etd4>). Sin embargo, su uso fue limitado, ya que el proyecto adoptó pronto un enfoque Open BIM, que resultó ser una solución mejor debido a su accesibilidad y adecuación para apoyar proyectos basados en BIM.

Esta transición permitió el desarrollo de un demostrador capaz de ayudar a los formadores a comprender las tecnologías digitales y sus ventajas, facilitando así la transferencia de conocimientos a las pymes. El demostrador también sirvió como herramienta para identificar los posibles retos a los que podrían enfrentarse los alumnos y estudiantes al utilizar las tecnologías digitales.

En este marco, se utilizó la plataforma Open Project BIM para alojar toda la información de modelización, con herramientas de control del proyecto y recursos cargados o creados para cada fase de la construcción. La plataforma también permitía realizar pequeños ajustes si era necesario, lo que permitía al equipo informático modificar sus funcionalidades según las necesidades del proyecto. Por lo tanto, Open Project BIM resultó ser la opción más adecuada para el proyecto.

2.2.4 Características organizativas de la plataforma

Open Project BIM® ofrece funciones integrales de gestión de proyectos y manejo de información que facilitan la participación de las partes interesadas a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto. La plataforma puede alojar la documentación del proyecto y los modelos BIM, e incluye un visor IFC que permite a los usuarios cargar y visualizar modelos 3D (fig. 4). Esta funcionalidad permite a los participantes en el proyecto consultar el modelo para obtener orientación sobre las operaciones de construcción, mientras que la disponibilidad de modelos tanto «según lo previsto» como «según lo construido» facilita la evaluación del progreso y el intercambio de información actualizada sobre plazos y costes, lo que garantiza un entendimiento común de los resultados y los productos del control del proyecto.

La plataforma también mejora la colaboración al permitir a los usuarios crear proyectos, escribir descripciones e invitar a miembros por correo electrónico, lo que garantiza que todas las partes interesadas puedan reunirse virtualmente en el mismo espacio de trabajo. El administrador puede controlar los derechos de acceso a la plataforma y definir lo que cada miembro puede ver, modificar o añadir. Este marco controlado de permisos garantiza unas responsabilidades claras, una gestión eficaz de las partes interesadas y una mayor eficiencia del proyecto.

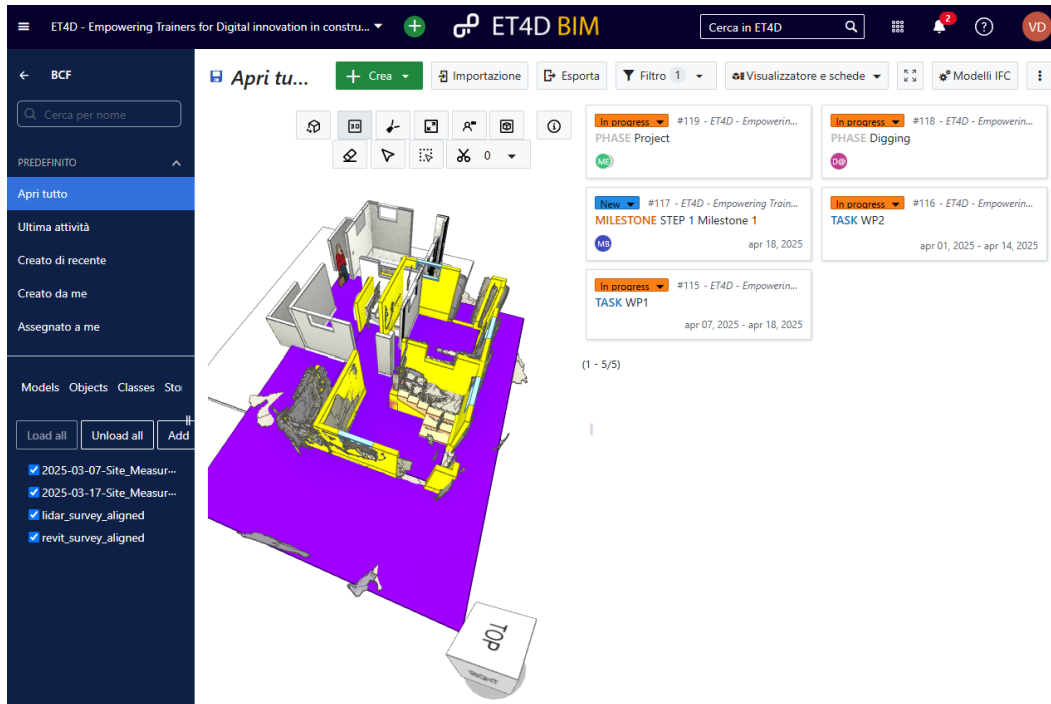


Fig. 4 Plataforma BIM de proyecto abierto para el proyecto ET4D

Para apoyar eficazmente estas actividades, la plataforma ofrece varias funciones clave, entre las que se incluyen:

- Estructura de desglose del trabajo (WBS)

La función «paquetes de trabajo» de la plataforma permite una descomposición sistemática de las tareas en orden jerárquico y su procesamiento. La pestaña de paquetes de trabajo también permite asignar tareas a los miembros, mostrando claramente el correo electrónico de cada uno de ellos. Esto facilita la transparencia en las funciones y responsabilidades, lo que ayuda a la coordinación y mitiga la superposición de tareas y las disputas. Esta función también permite a las partes interesadas ver el estado de cada tarea del proyecto (Fig. 5).

SUBJECT	TYPE	STATE	PRIORITY	% COMPLETION	START DATE	END DATE
▼ A.00. Preparation	PHASE	Closed	Normal	100%	★ 13/01/2025	13/01/2025
A.00.1. Securing the construction site with site fences	TASK	Closed	High	100%	13/01/2025	13/01/2025
A.00.2. Commencement of works	TASK	Closed	Normal	100%	★ 13/01/2025	13/01/2025
A.00.3. Site preparation	TASK	Closed	Normal	100%	13/01/2025	13/01/2025

Fig. 5 Paquetes de trabajo en la plataforma Open Project BIM para el proyecto ET4D

- Diagramas de Gantt

La EDT creada también se puede utilizar para programar las tareas y representarlas en el diagrama de Gantt. Al establecer el orden de las tareas y las fechas de inicio, la plataforma realiza la programación automáticamente. Sin embargo, también permite realizar ajustes y modificaciones manuales (fig. 6).

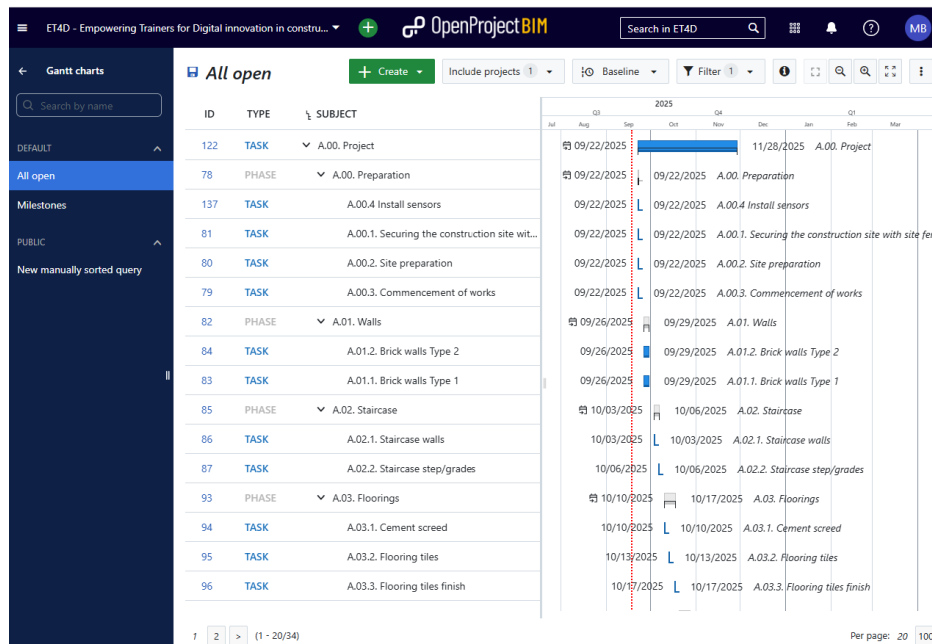


Fig. 6 Diagrama de Gantt de la plataforma Open Project BIM para el proyecto ET4D

- Reuniones

La plataforma permite planificar una reunión única entre los miembros necesarios o incluso programar reuniones periódicas. Añadir órdenes del día, modificar o crear tareas, todo ello se puede llevar a cabo en tiempo real durante la reunión.

- Compartir documentos

Hay una sección separada en la que se pueden cargar archivos y carpetas para compartirlos entre los miembros. El administrador puede modificar la limitación de acceso a cada pestaña de la plataforma, lo que reduce a cero el riesgo de pérdida de documentos o errores de comunicación.

- Funciones de colaboración BIM (BCF)

La parte más significativa de la plataforma es la función BCF. Como se ha mencionado anteriormente, la plataforma permite a los usuarios ver un modelo completo, ver los modelos a nivel de planta o a nivel de objeto (fig. 7). También permite ver los modelos cortando secciones o fragmentos a través de la parte deseada. El criterio principal es disponer de un modelo IFC, que es el único tipo de archivo que se puede cargar en la pestaña BCF.

Los modelos IFC se pueden superponer entre sí (fig. 8). Esto permite cargar diferentes partes de un mismo proyecto en diferentes archivos y visualizarlas en correspondencia entre sí. Esta función permite superponer los modelos de diferentes disciplinas e integrarlos en la misma vista sin necesidad de utilizar un software de modelado BIM. Por ejemplo, se superpuso un escaneo Lidar con el modelo BIM. No se puede modificar ninguna información de los modelos, por lo que no hay riesgo de pérdida de datos.

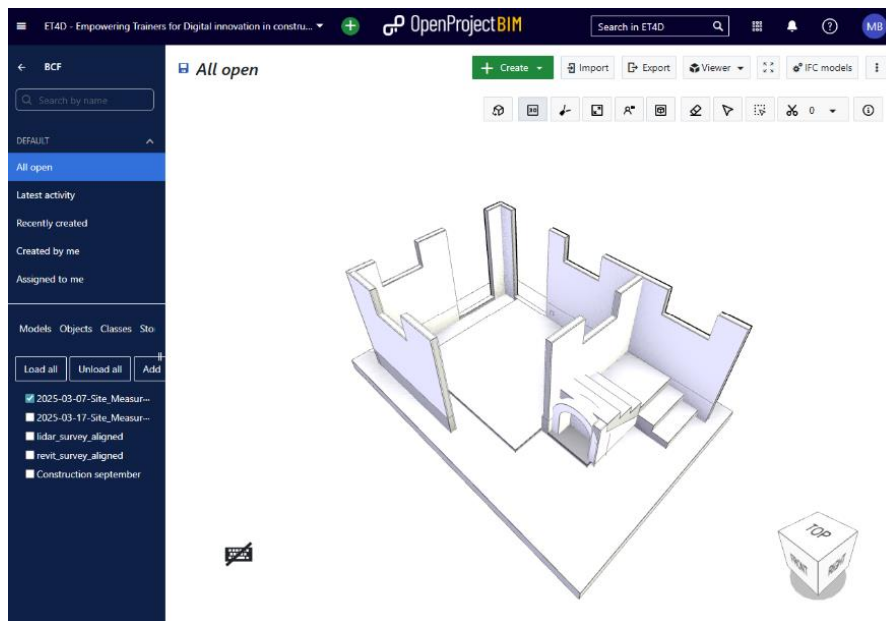


Fig. 7 Visor IFC del modelo BIM tal y como se construyó - Plataforma BIM de proyecto abierto para el proyecto ET4D

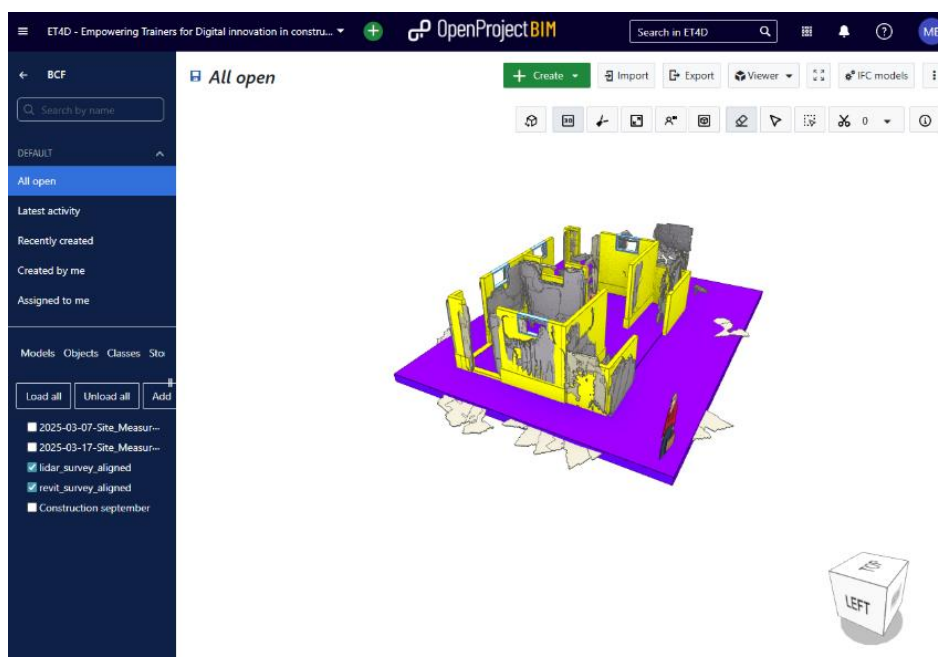


Fig. 8 Visor IFC del modelo BIM superpuesto y el escaneo Lidar - Plataforma BIM de proyecto abierto para el proyecto ET4D

- Accesibilidad para las partes interesadas sin conocimientos técnicos

Con todas sus funcionalidades, la plataforma no solo funciona como una herramienta organizativa y de gestión, sino que también integra aspectos técnicos relevantes. Su interfaz basada en navegador y fácil de usar reduce significativamente la barrera técnica asociada a la digitalización, lo que la hace adecuada tanto para las partes interesadas con conocimientos técnicos como para las que no los tienen. Como resultado, las partes interesadas, como los clientes, los gerentes, el personal administrativo y los trabajadores de la obra, que tienen conocimientos básicos de interfaces tecnológicas, pueden acceder fácilmente a la información esencial del proyecto sin necesidad de formación previa ni conocimientos técnicos.

En general, la plataforma proporciona una colaboración accesible e inclusiva dentro de un entorno digital, lo que mejora la comunicación significativa entre las partes interesadas involucradas. Esto contribuye a la transparencia y a una toma de decisiones más informada. En consecuencia, la plataforma desempeña un papel importante en la mejora de la eficiencia del proyecto, tanto desde el punto de vista de la construcción como de la gestión.

2.2.5 Visualización del gemelo digital

Para la realización del gemelo digital, se instalaron dispositivos IoT en la obra piloto. Los sensores para la construcción piloto se diseñaron intencionadamente para que fueran sencillos, dando prioridad a la viabilidad y la compatibilidad del sistema sobre las mediciones avanzadas. El objetivo principal era evaluar si la plataforma digital podía apoyar eficazmente la integración, la gestión y la visualización de los datos de los sensores en tiempo real, por lo que la necesidad de datos avanzados era secundaria.

Tras algunos estudios de mercado y asesoramiento técnico, se eligieron sensores compatibles con Raspberry-Pi debido a su tamaño compacto, bajo coste y amplia disponibilidad en contextos educativos y de prototipado. Estas características los hacen especialmente adecuados para proyectos experimentales y exploratorios, en los que la adaptabilidad y la rentabilidad son factores clave.

La responsabilidad de proporcionar los sensores recayó en el IIPLE, por lo que, tras la entrega, el equipo informático de Unibo trabajó en la programación y la conexión de los sensores a la plataforma Open Project BIM. Durante el proceso, se realizaron las pruebas iniciales en la oficina para confirmar la conectividad y la fiabilidad de la transferencia de datos. Una vez verificadas, se diseñó una carcasa y un soporte a medida para facilitar su colocación en la obra. Esto demuestra el carácter experimental del proyecto piloto, en el que las soluciones técnicas se adaptaron a las necesidades de la situación en lugar de estar predeterminadas.

La unidad sensora se instaló en la obra en septiembre. La ubicación se eligió estratégicamente para cubrir la zona de construcción en cuestión y no otras partes del laboratorio. El sensor consta de una cámara y un componente de detección ambiental.

El componente de detección ambiental recopila datos de una serie de parámetros de las condiciones ambientales locales:

- Temperatura del aire

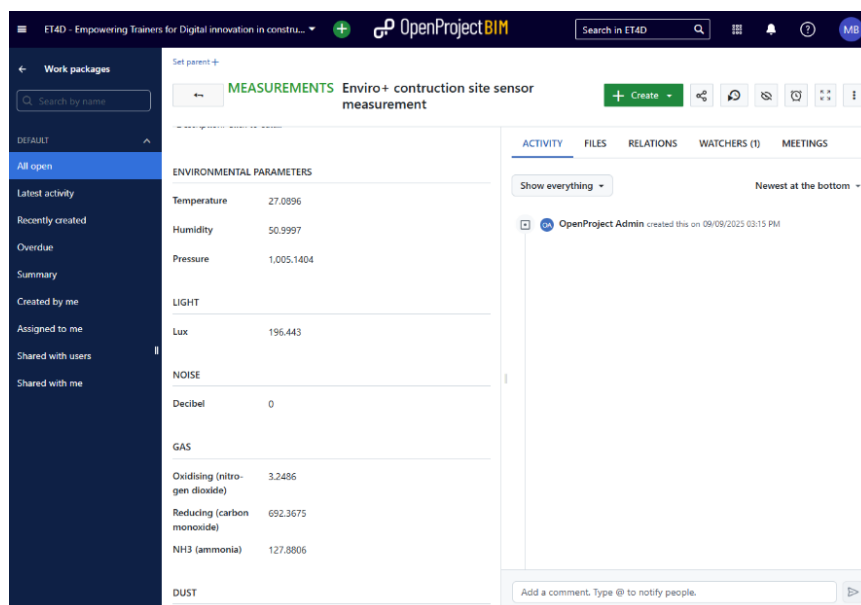
- Humedad relativa
- Presión
- Dióxido de carbono
- Óxido de nitrógeno
- Partículas en suspensión de 2,5 micras y 10 micras

Estas variables se utilizan habitualmente como indicadores de la calidad del medio ambiente y pueden proporcionar información temprana sobre posibles problemas de seguridad.

Al mismo tiempo, la cámara proporciona datos para la parte organizativa del proyecto. A diferencia de las cámaras de vigilancia de uso general, su función se limita a detectar el número de personas presentes en la zona de construcción designada, lo que facilita el control de asistencia y la supervisión de la seguridad. También captura una imagen del lugar al final del día, para realizar un seguimiento del progreso de la construcción en la obra.

Todos los datos de los sensores se transmiten automáticamente a la plataforma, donde se almacenan y actualizan en tiempo real. Dado que se sabe que la obra funciona de 7:00 a 12:00, la recopilación de datos se ha configurado deliberadamente para este intervalo de tiempo. Este muestreo selectivo reduce el almacenamiento innecesario de datos y garantiza que se recopilen los datos necesarios. Las mediciones se capturan cada 5 minutos, una frecuencia suficiente para observar los cambios en la obra y evitar el desbordamiento de datos.

Los datos brutos recopilados por los sensores se almacenan en la sección «Paquetes de trabajo» de la plataforma, donde pueden inspeccionarse manualmente para cada registro de tiempo. Sin embargo, este formato presenta la información de forma muy fragmentada, lo que dificulta su interpretación. Si bien estos datos brutos pueden ser útiles, no son eficaces para el análisis, especialmente para los usuarios con conocimientos técnicos limitados, y por lo tanto pueden llegar a carecer de sentido en este contexto (fig. 9).



The screenshot shows the ET4D platform interface. The main content area displays 'MEASUREMENTS' for an 'Enviro+ construction site sensor measurement'. The data is organized into several categories:

ENVIRONMENTAL PARAMETERS	
Temperature	27.0096
Humidity	50.9997
Pressure	1.005.1404

LIGHT	
Lux	196.443

NOISE	
Decibel	0

GAS	
Oxidising (nitrogen dioxide)	3.2486
Reducing (carbon monoxide)	692.3675
NH3 (ammonia)	127.8806

DUST	
------	--

The interface also includes a sidebar with navigation options like 'All open', 'Latest activity', and 'Recently created'. At the bottom, there is a comment input field: 'Add a comment. Type @ to notify people.'

Fig. 9 Datos de los sensores - Plataforma BIM de proyecto abierto para el proyecto ET4D

Para abordar esta cuestión, el equipo informático de Unibo implementó una visualización gráfica de los datos en la plataforma, lo que los hizo más accesibles y fáciles de usar. Se puede acceder a estos resultados desde el «Panel de sensores» en la sección «Descripción general del proyecto». Los gráficos traducen los datos brutos en gráficos de series temporales y gráficos de líneas comparativos, que permiten a los usuarios observar las tendencias medioambientales, detectar anomalías y correlacionar los datos con la actividad del sitio.

Aunque estos datos solo tienen fines de observación en la actualidad, con el avance del sistema, podrán utilizarse para predecir y modificar el entorno del emplazamiento en el futuro.

Además de estas herramientas de supervisión basadas en datos, se mejoró aún más la documentación 3D del emplazamiento mediante el escaneo basado en Lidar. El escaneo 3D se realizó utilizando una sencilla aplicación para iPhone, como Polycam 3DScanner, LIDAR 360®. El escaneo 3D generó una nube de puntos mediante un barrido láser, creando así un modelo visible del edificio piloto tal y como se construyó. La nube de puntos se cargó en la plataforma y se superpuso al modelo BIM, lo que permitió verificar el modelo BIM tal y como se construyó. Este proceso de control del proyecto proporciona una representación compartida y detallada del progreso real de las actividades de construcción. En particular, la superposición del escaneo 3D con el modelo digital determina el progreso real de los procesos de construcción (fig. 8).

2.2.6 Desarrollo del demostrador: dirección web, resultados y directrices para el usuario

Es importante destacar que el demostrador desarrollado dentro del WP3 va más allá del concepto de gemelo digital diseñado solo con fines formativos. El resultado es una plataforma digital que da soporte a todo el proceso de construcción: desde las fases de diseño y modelado hasta la planificación in situ y los flujos de trabajo operativos. Este alcance aumenta su relevancia para las pymes, ya que les ofrece un entorno accesible y práctico para comprender, probar y adoptar soluciones digitales que a menudo se perciben como complejas o inalcanzables. De hecho, el demostrador ofrece más de lo que se preveía inicialmente en el formulario de solicitud, ampliando intencionadamente sus funcionalidades e es para apoyar mejor a las pymes en su transición digital y maximizar el impacto del proyecto en el ecosistema de la construcción.

La plataforma desarrollada para el proyecto es accesible en el siguiente enlace: <https://et4d.dt.edili.com>.

3. Curso de formación transnacional

Tal y como se define en los objetivos del WP3.1, se organizará un curso de formación transnacional para formadores con el fin de presentar el demostrador, garantizando que sea fácil de usar y que pueda integrarse

eficazmente en las prácticas docentes. La formación permitió a los participantes experimentar con las tecnologías y probar las diversas herramientas disponibles.

UNIBO e IIPLE han desarrollado el programa de formación, que se impartirá en inglés en IIPLE, Bolonia (Italia), del 18 al 20 de noviembre de 2025. Cada socio ha seleccionado a dos o tres formadores, profesores o profesionales para participar.

El primer día del taller se centrará principalmente en presentar el estado actual del proyecto, su proceso de desarrollo y sentar las bases para la sesión práctica prevista para la mañana siguiente. Expertos externos al proyecto presentaron temas complementarios, como la seguridad en la construcción, la construcción ajustada y el análisis de valor. Al final del día, los participantes tendrán una comprensión clara del paquete de trabajo y de las actividades prácticas en las que participarán durante las sesiones posteriores.

El segundo día será la parte principal de la formación, en la que los participantes recibirán formación práctica. Este día, la sesión teórica del día anterior dará paso a la enseñanza práctica. Los participantes trabajarán primero de forma individual, siguiendo al facilitador para familiarizarse con la plataforma, y luego colaborarán en pequeños grupos para completar un conjunto estructurado de actividades. Los resultados de este día incluirán un conjunto de recomendaciones y modificaciones sugeridas para la plataforma con el fin de mejorar la comunicación y los objetivos educativos.

Todas las actividades realizadas durante la formación transnacional para formadores se documentarán, proporcionando material que formará parte integrante de las directrices para el uso del demostrador.

Además, se ha diseñado un cuestionario específico para evaluar la eficacia de la formación y validar el demostrador para su uso educativo. Al final de la formación, los participantes completarán el cuestionario para proporcionar comentarios sobre su experiencia.

El último paso será distribuir la plataforma digital y los materiales formulados durante la fase de diseño de este proyecto a los socios. Los socios utilizarán el demostrador con fines de formación. Se les pide que lo prueben en su institución con actualizaciones y documentación frecuentes. Los resultados de las documentaciones de las pruebas y los comentarios deben utilizarse para analizar y ajustar la plataforma digital y los materiales, con el fin de garantizar su uso específico. Al final, el proyecto debe haber adquirido un conjunto detallado de habilidades digitales necesarias para ser formador, una guía elaborada para los formadores, una plataforma digital funcional que pueda utilizarse para la formación y un programa de formación validado que garantice la funcionalidad de la plataforma digital y la formación.



Co-funded by
the European Union

ET4Digital

Capacitación de formadores para la innovación digital en el ecosistema de la construcción

PROYECTO n.º 2024-1-IT01-KA220-VET-000249119

ET4D



Co-funded by
the European Union

Financiado por la Unión Europea. No obstante, las opiniones y puntos de vista expresados son exclusivamente los de los autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Agencia Ejecutiva en el ámbito Educativo, Audiovisual y Cultural (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA se hacen responsables de ellos.