

Tecnologie e infrastrutture a supporto del Metaverso*

Luca Cardone

1. Introduzione

Il Metaverso rappresenta non solo un'evoluzione di Internet, ma una rivoluzione nell'informatica, dove gli spazi digitali si fondono con la realtà fisica, creando un'unica dimensione interattiva, permettendo agli utenti di essere completamente immersi nell'esperienza digitale, anziché essere semplici osservatori. Mark Zuckerberg lo definisce «an embodied internet where you're in the experience, not just looking at it. We call this the metaverse»¹ perché le persone non usano solo uno schermo, ma sono immerse al suo interno.

Attualmente, il Metaverso è in una fase di sviluppo e comprende una varietà di piattaforme, sia virtuali che fisiche, che si rivolgono a settori come il lavoro, le criptovalute e il *gaming*. La sua crescita è guidata dall'uso di dispositivi che favoriscono una comunicazione immersiva e sta dando impulso ai nuovi creatori di contenuti.

Un elemento chiave del Metaverso è l'identità digitale, che dovrà essere standardizzata e resa unica (o interoperabile), per permettere alle entità di spostarsi tra i vari universi digitali in modo sicuro e con la certezza di essere correttamente identificati.

Il Metaverso pone sfide tecnologiche che vanno oltre la semplice connettività, come l'accesso ubiquo, dispositivi XR accessibili, funzionalità di *Edge-Cloud computing*, *standard* e strumenti *user-friendly* per gli sviluppatori. In sostanza, il Metaverso sta stabilendo requisiti rigorosi per le reti di nuova generazione, in particolare le reti mobili di sesta generazione 6G, che dovranno essere progettate per supportare ambienti virtuali *real-time*, condivisi e persistenti, distribuiti globalmente.

2. Com'è cambiato il web dalla sua creazione ad oggi

Occorre ripercorrere la storia evolutiva del *Web* per comprendere come si arriva all'attuale concetto del *Web3* ed alle relative iniziative in corso.

* È il testo del capitolo III del libro di Astrid, *Metaverso. Mercato e regole*, a cura di Fabiana Di Porto e Andrea Stazi, edito da Passigli Editori, Firenze, 2025.

¹Al *Facebook Connect 2021*, Zuckerberg ha annunciato che Facebook cambia nome in Meta, per riflettere la nuova visione della società che ora punta allo sviluppo del Metaverso e a un modo totalmente nuovo di essere connessi. Mark Zuckerberg, fondatore di Meta, nella *Founder's letter, 2021*, pubblicata sulla propria pagina Facebook spiega la sua visione del Metaverso: <https://about.fb.com/news/2021/10/founders-letter/>

La storia del *web* inizia con ARPANET negli anni '70, un progetto di difesa americana che ha introdotto le prime forme di comunicazione tra computer, inclusa la posta elettronica. Tim Berners-Lee, ricercatore del CERN, è riconosciuto come il padre del *web* moderno, avendo introdotto nel 1991 il concetto di *World Wide Web* (WWW) con tecnologie chiave come HTML e il protocollo HTTP. Questo ha segnato l'inizio del *Web 1.0*, che ha rivoluzionato la comunicazione e ha portato alla nascita di standard tecnologici condivisi come TCP-IP, DNS e HTTP/HTTPS, ancora in uso oggi. Furono creati anche i primi *browser* per navigare tra le pagine *web*.

A partire dai primi anni del 2000 si sviluppa il *Web 2.0*, caratterizzato dalla nascita di applicazioni che abilitano alla produzione dei contenuti, oltre alla sola lettura. Sono gli anni caratterizzati dalla nascita di Wikipedia, dei blog, delle piattaforme *peer-to-peer* e delle *social networks*.

*Secondlife*², un mondo virtuale lanciato da Linden Lab negli Anni 2000, era visto come il futuro delle relazioni interpersonali e del *web*, un primo esempio di Metaverso. Il successo fu grande, ma poi si affievolì in fretta, nonostante i tentativi di rinnovare il prodotto. Oggi, però, la tecnologia è molto più avanzata di 20 anni fa, sia in termini di connessione Internet che di processori e dispositivi, e il Metaverso, inoltre, si integra con altre tecnologie, come *blockchain*, crypto valute e NFT. Il digitale è molto più presente nella vita di tutti. Inoltre, il Metaverso sposa bene la cultura dei videogiochi e dei *gamers*, offrendo esperienze immersive e diverse in molte applicazioni quotidiane: dalla videochiamata con i colleghi alla visita virtuale dello stadio della propria squadra preferita, fino a poter testare un prodotto prima di comprarlo.

Negli ultimi anni stiamo vivendo i primi albori del *Web 3.0*, ovvero un mondo Internet dove le applicazioni sono basate sull'Intelligenza artificiale per offrire servizi migliori e più vicini ai comportamenti umani. Basti pensare all'adozione negli ultimi anni dagli assistenti virtuali quali Alexa, Google Assistant e Siri.

Il *Web 3.0* secondo Tim Berners-Lee non si sarebbe basato soltanto sull'uso di parole chiave da inserire in un motore di ricerca, ma sull'abilità dell'Intelligenza artificiale di svolgere un ruolo attivo nell'aiutare la navigazione. Da questa visione nasce il progetto Solid del MIT³ dello stesso Tim Berners-Lee. Solid sta per Social Linked Data e mira a restituire gradualmente alle persone i dati di navigazione che normalmente forniscono i servizi gratuiti del *Web 2.0*. Lo scopo scientifico della ricerca è trovare metodi e tecnologie che possano affrontare i persistenti problemi di *privacy* e sicurezza che

² *Second Life* è una piattaforma *online* che simula un mondo virtuale dove gli utenti possono interagire tra loro attraverso *avatar* personalizzabili. È stato lanciato nel 2003 dalla *Linden Lab* e da allora è diventato un ambiente virtuale dove le persone possono esplorare, socializzare, partecipare a attività e creare oggetti virtuali. Gli utenti possono anche acquistare o vendere beni virtuali usando una valuta interna chiamata *Linden Dollar*, che può essere convertita in denaro reale. Sito ufficiale: <https://secondlife.com/>

³ *Solid* è un progetto di decentralizzazione dei dati del *web* guidato da Tim Berners-Lee, inventore del *World Wide Web*, sviluppato in collaborazione con il *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). *Solid* consente agli utenti di archiviare i propri dati in modo sicuro in Pods, decentralizzati e simili a *server web*, permettendo loro di controllare l'accesso ai dati e di creare ecosistemi di applicazioni interoperabili. Il sito del progetto è <https://solid.mit.edu/>

caratterizzano la navigazione sul *web*. Il progetto Solid ha un corrispettivo commerciale, Inrupt⁴ nato con lo scopo di consentire agli utenti di monetizzare in base alla loro attività sul *web*.

Il *Web 3.0*, la terza generazione del *web*, non ha una definizione chiara e unica, perché comprende diversi tipi di servizi internet per siti e applicazioni *web*. Più recentemente, la volontà di creare un'alternativa al *web* attuale, molto centralizzato, ha portato al *Web 3*, che usa concetti diversi ma non incompatibili con il *Web 3.0* originale. Il *Web3* è infatti nato nel 2014 da Gavin Wood, come *web* decentralizzato che potrebbero essere il risultato della convergenza di *blockchain*, NFT, crypto, Intelligenza artificiale, realtà aumentata, realtà virtuale e big data & *analytics* con le risorse IT disponibili grazie al *cloud computing*. Il *Web3*, pur avendo un paradigma diverso, ha rinnovato le aspirazioni del *Web 3.0*, che aveva perso il suo *appeal* (oggi i due termini sono usati come sinonimi anche nello statuto di *Web3 Foundation*). Il *Web 3.0* si presenta come una fusione di diverse applicazioni che si basano su principi e tecnologie decentralizzate, più che come un sistema alternativo al *World Wide Web* che già conosciamo e usiamo.

3. Aspetti essenziali del Metaverso

Il Metaverso è considerato il modello in sviluppo del *Web 3.0*.

Il Metaverso è uno spazio virtuale condiviso autosufficiente, iperspazio-spazio-temporale e immersivo in 3D, creato dalla convergenza di uno spazio virtuale fisicamente persistente e di una realtà fisica virtualmente migliorata. In altre parole, il Metaverso è un mondo sintetizzato composto da *avatar* controllati dall'utente, oggetti digitali, ambienti virtuali e altri elementi generati dal computer, in cui gli esseri umani (rappresentati da *avatar*) possono utilizzare la loro identità virtuale attraverso qualsiasi dispositivo intelligente per comunicare. Nel Metaverso, gli utenti rappresentati come *avatar* digitali possono spostarsi senza soluzione di continuità attraverso vari mondi virtuali, cioè sub-metaversi, per sperimentare una vita digitale, nonché realizzare creazioni digitali e interazioni economiche, supportate da infrastrutture fisiche e dal motore del Metaverso.

In particolare, il Metaverso presenta caratteristiche uniche come:

- 1) Il mondo reale è vincolato dalla scarsità dello spazio e dall'ineluttabilità del tempo. Poiché il Metaverso è un *continuum* virtuale che si affianca a quello reale, allora è possibile superare i limiti del tempo e dello spazio. In questo modo, gli utenti possono viaggiare tra diversi mondi con diverse dimensioni spazio-temporali per provare una vita alternativa con un cambiamento di scenario senza

⁴ Inrupt è un'azienda che realizza la visione originale di Sir Tim Berners-Lee per un *web* di beneficio condiviso. Offrono software e servizi di livello *enterprise* basati su "Solid". Il sito dell'azienda è <https://www.inrupt.com/>

interruzioni. Ma deve anche essere in grado di offrire un'esperienza di vita che sia coerente per tutti e in tempo reale.

- 2) L'immersività è la sensazione di essere psicologicamente ed emotivamente coinvolti nello spazio virtuale creato dal computer, perché sembra abbastanza reale. Si può anche dire "realismo immersivo"⁵. Secondo il punto di vista del realismo, gli esseri umani si relazionano con l'ambiente attraverso i loro sensi e i loro corpi. Il realismo immersivo si può raggiungere tramite la combinazione tra la sensazione sensoriale (vista, tatto, suono, temperatura), l'equilibrio e la gestualità.
- 3) L'interoperabilità nel Metaverso significa due cose, una è che gli utenti possono spostarsi da un mondo virtuale all'altro senza interrompere l'esperienza immersiva; l'altra, che le risorse digitali per creare o ricreare mondi virtuali sono compatibili con piattaforme diverse.
- 4) Per scalabilità si intende la capacità del Metaverso di mantenere costante l'efficienza in base al numero di utenti/*avatar* che partecipano, il grado di complessità della scena e la modalità di interazione tra utente/*avatar*.
- 5) La sostenibilità indica che il Metaverso deve avere un'economia funzionante: un luogo in cui le persone potranno creare, possedere, investire, vendere ed essere ricompensate per ogni lavoro, oggetto o risorsa capace di produrre un "valore" riconosciuto dalla comunità; Da un lato, dovrebbe essere aperto, cioè suscitare continuamente l'entusiasmo degli utenti nella creazione di contenuti digitali e nelle innovazioni aperte. D'altra parte, per rimanere persistente, dovrebbe essere costruito su un'architettura decentralizzata con un alto livello di indipendenza, evitando di essere controllato da poche entità potenti.

⁵ Del Realismo Immersivo ne parla J. D. N. Dionisio, W. G. Burns, III, e R. Gilbert, nella pubblicazione *3D virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities ACM Comput. Surveys*, vol. 45, no. 3, pp. 1-38, Jul. 2013.

3.1. Componenti del Metaverso

In questo paragrafo approfondiremo in dettaglio le relazioni tra i tre mondi, i componenti del Metaverso e il flusso di informazioni del Metaverso.

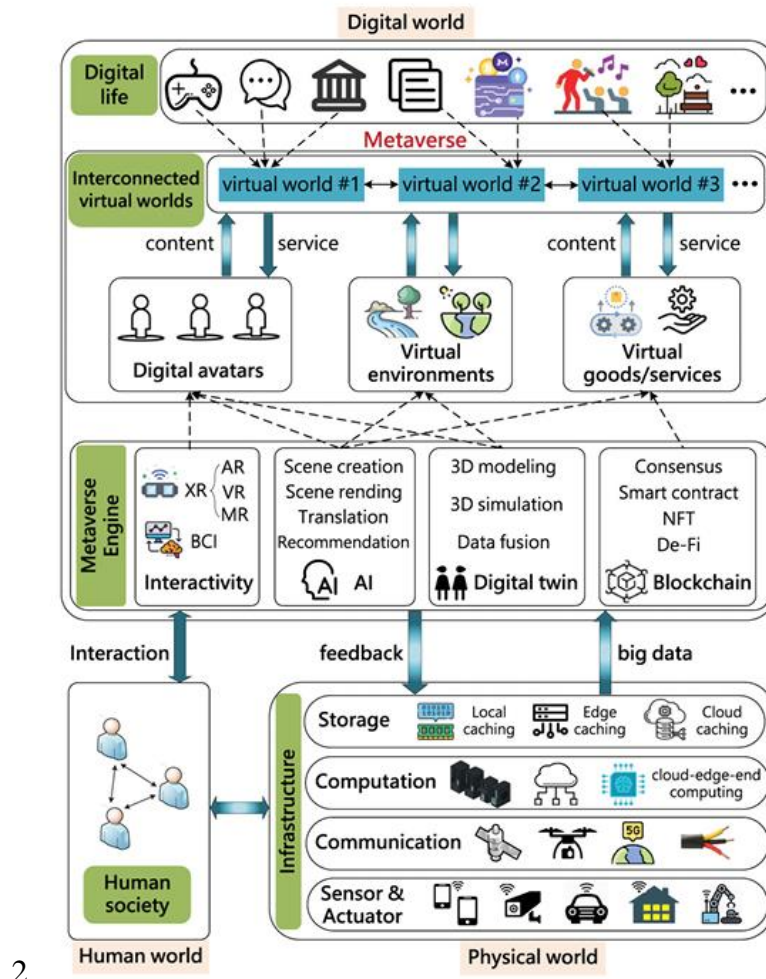


Fig. 1: Architettura del Metaverso nei tre mondi umano, fisico e digitale (fonte IEEE)⁶

Il Metaverso è considerato antropocentrico. Gli utenti umani, insieme alle loro psicologie interiori e alle loro interazioni sociali, costituiscono il mondo umano. Dotati di dispositivi indossabili intelligenti come ad esempio i caschi VR/AR, gli esseri umani possono interagire e controllare i loro *avatar* digitali per giocare, lavorare, socializzare e interagire con altri *avatar* o entità virtuali nel Metaverso tramite l'interazione uomo-computer (HCI) e le tecnologie di realtà estesa (XR).

⁶ Il documento è una ricerca approfondita sul Metaverso, che esamina le sue fondamenta, le minacce alla sicurezza e alla *privacy*, e propone soluzioni innovative. Titolo: *A Survey on Metaverse: Fundamentals, Security, and Privacy*, scritto da Yuntao Wang, Zhou Su, Senior Member, IEEE, Ning Zhang, Senior Member, IEEE, Rui Xing, Dongxiao Liu, Member, IEEE, Tom H. Luan, Senior Member, IEEE, and Xuemin Shen, Fellow, IEEE. Il sito dell'articolo è <https://uwaterloo.ca/scholar/sites/ca.scholar/files/sshen/files/wang2023metaverse.pdf>

Il Metaverso utilizza le infrastrutture fornite dal mondo fisico (incluse le infrastrutture di rilevamento/controllo, comunicazione, calcolo e archiviazione) per gestire i dati multisensoriali, sia per il controllo fisico che per l'interazione con il mondo digitale e umano. In particolare, gli oggetti intelligenti, i sensori e gli attuatori costituiscono l'infrastruttura di rilevamento/controllo per consentire la percezione completa e multimodale dei dati provenienti dall'ambiente e dal corpo umano e il controllo dei dispositivi ad alta precisione. La connessione in rete viene fornita tramite l'infrastruttura di comunicazione costituita da reti eterogenee come *wireless*, mobili, cablate e satellitari. Le capacità di calcolo e di archiviazione sono fornite tramite l'infrastruttura di calcolo e archiviazione dal *cloud/edge computing*.

Il motore del Metaverso utilizza i big data del mondo reale come input per generare, mantenere e aggiornare il mondo virtuale tramite l'interattività, l'Intelligenza artificiale, il gemello digitale e le tecnologie *blockchain*, denominati elementi alla base del Metaverso che vedremo nel capitolo successivo. Le piattaforme più conosciute al momento sono Decentraland⁷, Fortnite⁸, Meta Horizon Workrooms⁹ e AltspaceVR¹⁰, Microsoft Mesh¹¹ e Roblox¹² e ambienti *cross-platform* come Photon¹³ e Spatial¹⁴. La tecnologia di riferimento per lo sviluppo del motore del Metaverso è quella dello "Spatial Computing" o "Ambient Computing" termine coniato dal ricercatore del MIT Simon Greenwald che, in una tesi del 2003¹⁵, cercò di definire questo concetto come la convergenza e la fusione tra mondo digitale e fisico.

⁷ *Decentraland* è stato sviluppato da Ari Meilich ed Esteban Ordano a partire dal 2015. La piattaforma però è stata lanciata ufficialmente soltanto nel 2017. *Decentraland* è una piattaforma di realtà virtuale piuttosto unica, sviluppata sulla *blockchain* Ethereum. Il sito della piattaforma è <https://decentraland.org/>

⁸ *Fortnite* è stato sviluppato nel settembre 2017 da Epic Games, un'azienda di sviluppo videogiochi con sede negli Stati Uniti. Il gioco è nasce con l'obiettivo di creare, giocare con amici e partecipare ad eventi dal vivo. Il sito della piattaforma è <https://www.fortnite.com/?lang=it>

⁹ *Horizon Workrooms* è un ambiente virtuale che permette la collaborazione remota in realtà virtuale o tramite videochiamata. La piattaforma è stata sviluppata da Meta. Il sito della piattaforma è <https://forwork.meta.com/it/horizon-workrooms/>

¹⁰ *AltspaceVR*, sviluppata da Meta, è una piattaforma di collaborazione e incontro che funziona su diverse piattaforme. Gli utenti possono interagire *online* tramite *avatar*. Il sito della piattaforma è: <https://www.meta.com/it-it/experiences/2133027990157329/>

¹¹ *Microsoft Mesh* è una suite di strumenti che offre esperienze immersive. Si può partecipare anche tramite *Microsoft Teams* o con dei visori Meta VR. Il sito della piattaforma è: <https://learn.microsoft.com/it-it/mesh/overview>

¹² *Roblox* è una piattaforma di universo Virtuale creata nel dicembre 2003 con il nome iniziale di *Goblock* e trasformata in *Roblox* nel gennaio 2004. Il fondatore è David Baszucki, co-fondatore e CEO di *Roblox Corporation*. Il sito della piattaforma è <https://www.roblox.com/>

¹³ *Photon Engine* è una piattaforma Multiplayer per lo sviluppo di giochi. Fondata da Christof Wegmann nel 2003. Il sito ufficiale della piattaforma è: <https://www.photonengine.com/>

¹⁴ *Spatial* è una piattaforma di giochi sviluppata con *Unity*, che permette agli sviluppatori di pubblicare e monetizzare giochi su web, mobile e VR. La piattaforma è stata creata nel 2017 da Anand Agarawala e Jinha Lee. Il sito ufficiale è: <https://www.spatial.io/>

¹⁵ Il documento è una tesi di Simon Greenwald B.S., *English & Applied Math Yale University*, giugno 1995, presentato al programma in *Media Arts and Sciences, School of Architecture and Planning*, in parziale adempimento dei requisiti per il grado di *Master of Science in Media Arts and*

Il mondo digitale può essere composto da una serie di mondi virtuali distribuiti interconnessi e ogni Metaverso può offrire, agli utenti rappresentati come *avatar* digitali, determinati tipi di beni/servizi e ambienti virtuali.

I beni virtuali sono creati dai fornitori di servizi virtuali o dagli utenti nel Metaverso. Per quanto riguarda invece i contenuti, ci sono due principali fonti di informazioni nel Metaverso: una è rappresentata da tutto ciò che arriva come input dal mondo reale e che viene trasformato in digitale nello spazio virtuale, l'altra consiste nell'output generato dagli *avatar*, ossia oggetti digitali e servizi del Metaverso. Sul tema dei contenuti e dei beni è fondamentale garantire l'affidabilità dei dati, la tracciabilità e la protezione della *privacy*. Nel mondo reale, l'infrastruttura di rilevamento/controllo svolge un ruolo importante nella digitalizzazione/trasformazione del mondo fisico attraverso sensori e attuatori pervasivi (IoT), e i big data che vengono trasmessi ed elaborati, tramite infrastrutture di rete e di calcolo. Nel mondo digitale, le informazioni digitali prodotte dei mondi fisici e umani vengono elaborate e gestite tramite il motore del Metaverso, per supportare la creazione/rendering del Metaverso su larga scala.

Gli ambienti virtuali si riferiscono agli ambienti reali o quelli simulati nel Metaverso da oggetti digitali 3D e dai loro attributi. Inoltre, gli ambienti virtuali nel Metaverso possono avere dimensioni spazio-temporali distinte come, ad esempio, il medioevo, il futuro, mondi immaginari, il tutto per consentire agli utenti di sperimentare una vita alternativa. Una delle grandi sfide del Metaverso è quella di garantire l'accessibilità a questa esperienza in qualsiasi momento e da qualsiasi dispositivo, tra cui anche quelli tradizionali quali Cellulari e PC. Ed è per questo motivo che, per permettere agli utenti la fruizione del Metaverso anche tramite dispositivi standard dotati di *browser*, sono nate interfacce come WebXR¹⁶, che mettono a disposizione degli sviluppatori una serie di API specifiche che consentono di accedere a dispositivi VR (Virtual Reality) e realtà aumentata (AR). Esistono diversi strumenti di sviluppo per il Metaverso tra cui menzioniamo: Amazon Sumerian¹⁷, Blender¹⁸, Engine, JanusWeb¹⁹, Sandbox²⁰, Unreal

Sciences presso il *Massachusetts Institute of Technology*, redatto a giugno 2003. Il documento esplora lo *Spatial Computing*, analizzando le sue applicazioni e direzioni future nel contest dell'integrazione tra ambiente fisico e digitale. Il link alla tesi: <https://acg.media.mit.edu/people/simong/thesis/SpatialComputing.pdf>

¹⁶ Sito web dello standard *WebXR*: <https://www.w3.org/TR/webxr/>.

¹⁷ *Amazon Sumerian* è una piattaforma AWS per creare applicazioni 3D, AR, e VR rilasciata nel novembre 2017. Il sito della piattaforma è <https://aws.amazon.com/it/sumerian/>.

¹⁸ *Blender* è un software libero di grafica 3D, creato da *Ton Roosendaal* nel 1995 come parte di *Neo Geo*. È diventato *open source* nel 2002. Il sito del software è <https://www.blender.org/>.

¹⁹ *JanusWeb* è un *framework web* per esperienze di realtà virtuale creato da James Boicoianu e lanciato come progetto *open source* di *JanusVR, Inc*. Il sito ufficiale è <https://janusxr.org/web.html>.

²⁰ La piattaforma di gioco decentralizzato *Sandbox.game* è basata su *blockchain Ethereum* ed è stata creata da *Pixowl* nel 2018. Il sito ufficiale è <https://www.sandbox.game/en/>

Engine²¹, Unity²², in grado di implementare gemelli digitali e le loro caratteristiche come le animazioni, la “gesture recognition”, lo “spatial mapping” e gli algoritmi di Intelligenza artificiale a supporto.

Gli *avatar* sono la rappresentazione digitale degli utenti umani nel Metaverso. Un utente può creare vari *avatar* in diverse applicazioni del Metaverso e gli *avatar* prodotti possono essere di vario tipo. Si possono creare *avatar* con sembianze umane simili alle nostre oppure creare animali o creature immaginarie. Esistono piattaforme come Ready Player Me²³, in grado di creare un *avatar* in maniera facile e compatibile con varie piattaforme di gioco. L’utente può iniziare con un selfie per creare un *avatar* in 2D o 3D, a corpo intero o a metà corpo e utilizzarlo su varie piattaforme di *gaming* o nelle *app* grazie al fatto che risultano esportabili con formati standard quali GLB, FBX.

Esistono poi altre tecnologie in grado di creare degli *avatar* che simulano in tutto la persona reale. In pratica viene costruito un vero e proprio gemello digitale umano, riuscendo a riprodurre e simulare anche i movimenti e le espressioni della persona.

Questo tipo di tecnologia viene spesso usata in ambienti pubblicitari o cinematografici. Esistono varie piattaforme in grado di offrire questa possibilità come Character Creator²⁴ di Real Illusion, e MetaHuman di Unreal Engine²⁵, oppure soluzioni “open source” come Make Human. Inoltre, Unreal Engine ha lanciato nel 2023 il MetaHuman Animator, in grado di rendere possibile la creazione di un *avatar* “Human-like” anche su un comune iPhone,²⁶.

²¹ *Unreal Engine* è un motore grafico diventato uno standard per videogiochi. Sviluppato da Epic Games nel 1998. Il sito del motore grafico è <https://www.unrealengine.com/>

²² *Unity* è una piattaforma di sviluppo per giochi sia 2D che 3D con realtà virtuale e aumentata. Creato da *Unity Technologies* nel 2004. Il sito ufficiale è <https://unity.com/>.

²³ *ReadyPlayer.Me* è un sistema di *avatar* per giochi e app sviluppato da Wolf3D. Il sito ufficiale è <https://readyplayer.me/>

²⁴ *Character Creator* è un software avanzato per la creazione di personaggi 3D, noto per le sue facilità d’uso. Creato dalla società *Real Illusion Inc.* Il sito ufficiale è <https://www.reallusion.com/character-creator/>

²⁵ *Meta Human* è un *framework* di *Epic Games* per creare umani digitali realistici in *Unreal engine*. Lanciato nel febbraio 2012, il sito ufficiale è <https://www.unrealengine.com/en-US/metahuman>

²⁶ *MakeHuman* è uno strumento open source per creare umani virtuali realistici, sviluppato dal gruppo che aderisce al portale *MakeHuman*. Il sito del portale è <http://www.makehumancommunity.org/>.

4. Gli elementi alla base del Metaverso:

Alla base dell'architettura del Metaverso abbiamo 6 fattori abilitanti:

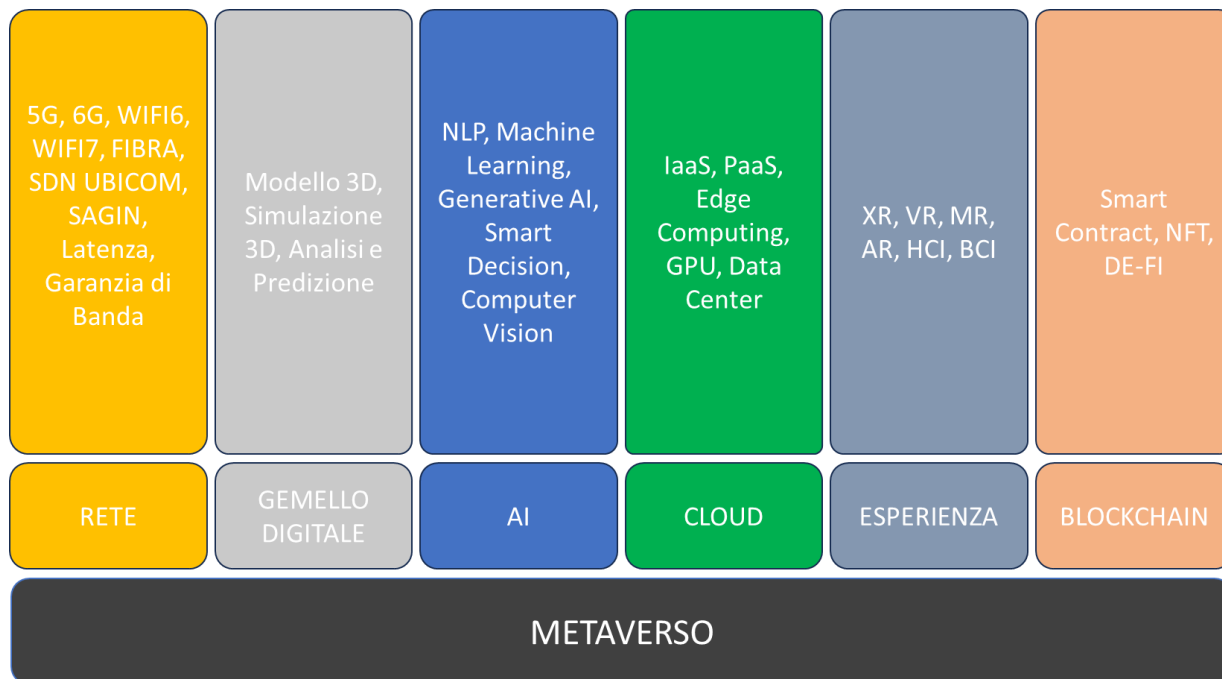


Fig. 2: I sei elementi alla base del Metaverso

Le reti di telecomunicazione nel Metaverso grazie a tecnologie come il 5G advanced, il 6G, la Software Defined Network (SDN) e l'IoT potenziano l'accesso e la trasmissione massiva di dati in tempo reale tra il mondo reale e quello virtuale, nonché tra i sub-metaversi.

Per sviluppare il Metaverso sarà necessaria una radicale trasformazione dell'infrastruttura Internet con risorse computazionali molto più potenti, con banda simmetrica (cioè non solo alte velocità di scaricamento, ma anche di caricamento per permettere agli utenti di inviare i contenuti multimediali creati dai loro dispositivi alla rete) disponibile a latenze molto più basse (per assicurare un'interattività reale) e attraverso vari tipi di dispositivi. Le reti attuali offrono servizi di contenuti come video e IoT e richiedono in genere una latenza di 100 millisecondi (ms) e un frame rate di 30 frame per secondo (fps)²⁷, con la maggior parte dei dati in "download" dalla rete. Nel mondo del Metaverso e del gemello digitale, le reti supporteranno prevalentemente applicazioni come la visione artificiale e la tecnologia olografica e la maggior parte del traffico dati sarà in "upload" verso la capacità di calcolo computazionale. Più servizi verranno elaborati al margine invece che nel *cloud* e richiederanno in genere una latenza di 10 ms e un frame rate di 120 fps. Per raggiungere questo scopo, le reti

²⁷ L'articolo di Huawei, scritto da Zhao Shefeng ad ottobre 2022, discute l'evoluzione dei sistemi di calcolo e dell'Intelligenza artificiale nel sostenere lo sviluppo del Metaverso. Sito dell'articolo: <https://www.huawei.com/en/huaweitech/publication/202207/ict-pave-way-metaverse>

saranno integrate con maggiori capacità di calcolo, enormi quantità di dati e intelligenza pervasiva, formando reti di calcolo convergenti.

Dalla connessione delle persone alla connessione delle cose, fino alla connettività intelligente di tutto. Il rapporto *Intelligent World 2030* di Huawei²⁸ stima che entro il 2030 ci saranno più di 200 miliardi di connessioni globali. L'utilizzo medio mensile dei dati sulle reti *wireless* aumenterà di 40 volte rispetto a oggi, superando i 600 GB a persona. Allo stesso tempo, gli utenti XR supereranno 1 miliardo, con le interazioni tra il mondo fisico e quello virtuale che raggiungeranno nuove vette con esperienze iper-reali onnipresenti.

Assisteremo ad enormi progressi nelle tecnologie di rete, infatti queste ultime saranno in grado di riprodurre la realtà per creare un mondo parallelo, anche attraverso l'applicazione di tecnologie di virtualizzazione. La precisione del rilevamento *wireless* sta migliorando, arrivando a livelli millimetrici, al fine di consentirci di realizzare applicazioni come veicoli connessi, droni, sicurezza senza equipaggio, monitoraggio ambientale, previsioni meteorologiche, *imaging* medico e ispezioni industriali. Le tecnologie 5G e 6G offriranno la possibilità di comunicazioni onnipresenti, in tempo reale e ultra-affidabili per grandi quantità di dispositivi con un supporto avanzato per la mobilità. Le reti mobili 5G sono in grado di fornire velocità di picco dei dati multi-gigabit al secondo (multi-Gbps), latenza ultra-bassa, maggiore affidabilità. Una rete 5G è una rete flessibile e dinamica e quindi in grado di fungere da preambolo per il Metaverso, supportando molti casi d'uso di realtà aumentata in settori industriali con dispositivi specializzati e allo stesso modo abilitare applicazioni *consumer* sugli smartphone. Quando avremo le prime implementazioni del 5G-Advanced (progettato, tra l'altro, appositamente per abilitare esperienze XR), la portata del Metaverso aumenterà notevolmente. Una maggiore larghezza di banda in *uplink* e una migliore latenza significheranno sovrapposizioni visive più coinvolgenti e quasi fotorealistiche e interazioni più reattive.

²⁸ Il report *Intelligent World 2030* di Huawei, pubblicato il 22 settembre 2021, esplora le tendenze ICT per il prossimo decennio e le opportunità emergenti. Il link del report: https://www-file.huawei.com/-/media/CORP2020/pdf/giv/Intelligent_World_2030_en.pdf

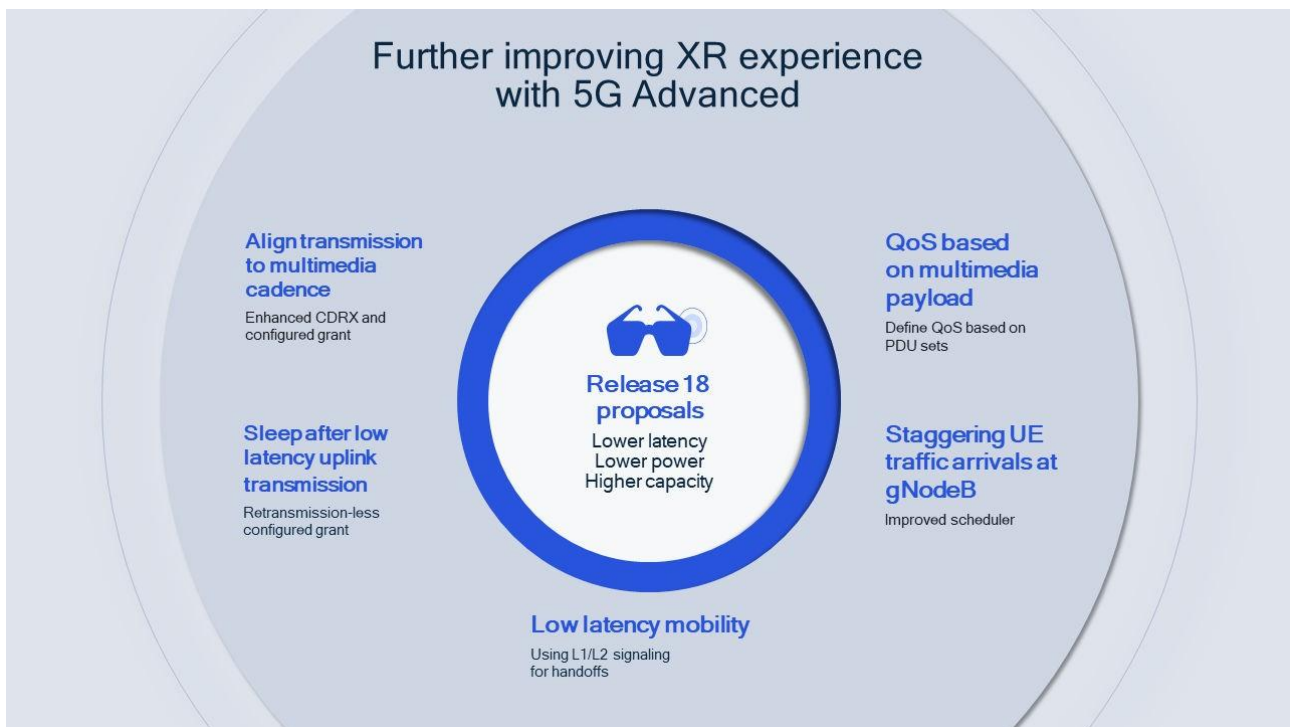


Fig. 3: 5G advanced e XR Experience (Fonte Qualcomm)²⁹

Oltre al 5G, arriveranno presto anche altri standard tecnologici in grado di sostenere la crescita della domanda di connessione tra persone e oggetti. Grazie al WiFi 6E³⁰ che offre velocità fino 10Gbps, minore latenza e migliori prestazioni. Vedremo nel 2024 il debutto del WiFi 7³¹ che offrirà ancora più velocità, alta capacità e bassa latenza a sostegno di applicazioni di Extended Reality (XR). Inoltre, negli standard di rete mobile 6G si sta già pensando alla possibilità di una rete integrata spazio-aria-terra (SAGIN)³².

La combinazione di reti *wireless*, fibra ottica e satelliti in orbita terrestre bassa (LEO) consente una copertura 3D integrata spazio-aria-terra, in grado di garantire continuità nelle connessioni. Ciò offrirà un'esperienza a banda larga garantita per le applicazioni a terra e gli aeromobili ad alta quota. Infine, le reti di accesso, metropolitane e verso i *data center* garantiscono accessi a 100Gbps.

²⁹ L'articolo di novembre 2022 di *Qualcomm* scritto da Hemanth Sampath esplora come le tecnologie 5G, AI e XR abilitano il Metaverso, enfatizzando la connessione tra mondi fisici e digitali. Sito dell'articolo: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2022/11/enabling-the-metaverse-with-5g>

³⁰ Lo standard 802.11ax, noto come "Wi-Fi 6", è stato introdotto nel 2019. Offre velocità maggiori, efficienza e sicurezza su frequenze 5 GHz e 2,4 GHz. Sito dello standard: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11ax/7180/>

³¹ Lo standard 802.11be, noto come "Wi-Fi 7", promette velocità fino a 46 Gbit/s su bande 2,4, 5 e 6 GHz. Previsto per il 2024. Sito dello standard: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11be/7516/>

³² Articolo di Ray Partim Partha. Intitolato *A Review on 6G for Space-Air-Ground Integrated Network: Key Enablers, Open Challenges, and Future Direction*, J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci. 2021. Sito dell'articolo: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157821002172>

Inoltre, la Software Defined Network consente la gestione flessibile e scalabile delle reti su larga scala tramite la separazione del piano di controllo e del piano dati. Nel Metaverso basato su SDN, i dispositivi fisici e le risorse sono gestiti da un *controller* logicamente centralizzato che utilizza un'interfaccia standardizzata come OpenFlow³³.

Pertanto, le reti di comunicazione orientate al Metaverso che collegano decine di miliardi di persone e centinaia di miliardi di cose avranno sei caratteristiche: rete a banda larga, esperienza deterministica, uso dell'Intelligenza artificiale, comunicazione e rilevamento integrati, sicurezza e affidabilità e salvaguardia dei consumi a basse emissioni di carbonio.

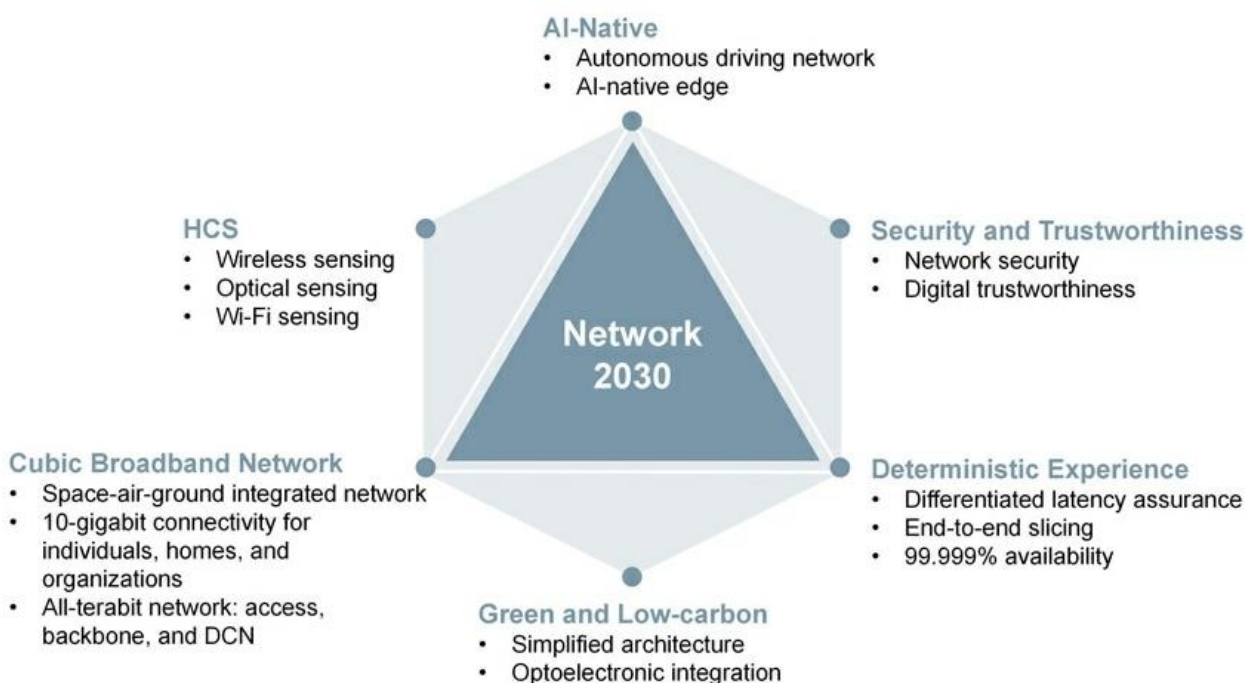


Fig. 4: Il ruolo della rete nel Metaverso (Fonte: Huawei)³⁴

Il gemello digitale è una copia digitale fedele e intelligente di oggetti e sistemi che esistono nel mondo reale. Consente il *mirroring* di entità fisiche, nonché di prevedere e migliorare i loro corrispondenti virtuali, usando dati di sensori in tempo reale, modelli fisici e informazioni storiche.

Nel gemello digitale, i dati inviati dalle entità fisiche possono essere usati per l'auto apprendimento e l'auto adattamento nello spazio virtuale. Inoltre, i gemelli digitali possono creare modelli digitali accurati degli oggetti con tutte le loro caratteristiche e un'alta precisione attraverso la simulazione di processi fisici complessi e il supporto di tecnologie di Intelligenza artificiale, il che è utile per la realizzazione e la

³³ *Open Networking Foundation* (ONF) è un consorzio non-profit guidato da operatori e dalla comunità, che promuove l'innovazione nelle reti programmabili *software-defined*. Sito web del consorzio: <https://opennetworking.org/>

³⁴ L'articolo *The Role of Connectivity in Building the Metaverse* di Zhao Shefeng, pubblicato da Huawei ad ottobre 2022, esplora l'evoluzione della connettività per supportare il Metaverso. Il sito dell'articolo: <https://www.huawei.com/en/huaweitech/publication/202207/ict-pave-way-metaverse>

visualizzazione del Metaverso. Inoltre, il gemello digitale consente la manutenzione preventiva e la tracciabilità dei problemi per la sicurezza fisica, grazie al collegamento bidirezionale tra le entità fisiche e le loro repliche virtuali, aumentando così l'efficienza e diminuendo i rischi nel mondo reale.

La tecnologia di Artificial Intelligence è il “cervello” del Metaverso che offre servizi personalizzati, creazione e visualizzazione di scene di massa, supporto multilingue imparando attraverso l'analisi dei big data. Inoltre, l'Intelligenza artificiale rende possibili interazioni intelligenti tra l'utente e l'*avatar*/NPC (personaggio non giocante) quali ad esempio, un'assistenza intelligente allo shopping e la previsione del movimento dell'utente. Inoltre, apprendendo continuamente degli utenti tramite le espressioni facciali, le emozioni, gli algoritmi di Intelligenza artificiale, possono generare *avatar* vividi e personalizzati.

L'obiettivo dell'*ubiquitous computing*, o “ubicom”, è creare un ambiente in cui gli utenti siano immersi nell'informatica in ogni momento e luogo³⁵. Attraverso oggetti intelligenti diffusi che fanno parte dell'ambiente (sensori) o sono indossati dall'uomo, l'*ubicom* facilita un adattamento flessibile alle interazioni tra gli utenti umani e lo spazio fisico. Invece di usare dispositivi specifici (come i laptop), gli utenti possono interagire liberamente con i loro *avatar* e vivere i servizi del Metaverso in tempo reale.

Per migliorare la qualità dell'esperienza degli utenti, il *cloud computing* coordina le infrastrutture altamente scalabili che richiedono una potente capacità di calcolo e archiviazione e le infrastrutture di *edge computing* che si occupano di gestire le informazioni avvicinandosi agli utenti/dispositivi finali. Così, la tecnologia di *edge* e *cloud computing* consentono un'assegnazione flessibile e *on-demand* delle risorse per soddisfare i vari requisiti degli utenti finali con i loro dispositivi in diverse applicazioni del Metaverso. La capacità computazionale necessaria per calcolare le interazioni richiederà schede grafiche con GPU (Graphic Process Unit)³⁶. Inoltre, per garantire la fruizione anche su *device* tradizionali e a costi contenuti, l'*edge cloud* è essenziale in quanto abilita il *rendering* dei contenuti ai margini della rete, anziché lato utente. Ad

³⁵ Y. Chen et al., *UbiMeta: A Ubiquitous Operating System Model for Metaverse* su *International Journal of Crowd Science*, vol. 7, no. 4, pp. 180-189, dicembre 2023. Sito dell'articolo: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10371290>

³⁶ NVIDIA collabora con Microsoft per il metaverso industriale e l'AI, tramite *Azure Cloud*. Articolo di *Forbes*, pubblicato il 21 marzo 2023. Sito dell'articolo: <https://www.forbes.com/sites/digital-assets/2023/03/21/nvidia-teams-up-with-microsoft-on-industrial-metaverse/?sh=3eb8205f630e>

esempio, le soluzioni di XR *streaming* come NVIDIA Cloud XR³⁷ e Google Immersive Stream for XR³⁸ sono all'avanguardia in questo ambito.

La grande quantità di dati necessari per la rappresentazione del Metaverso aumenterà la pressione sulla capacità dei *data center* di elaborare e trasmettere tutte le informazioni necessarie ai milioni di utilizzatori contemporanei. Le infrastrutture *cloud* richiederanno un'evoluzione radicale per supportare il Metaverso con notevoli investimenti nel rispetto dei nuovi parametri di sostenibilità energetica e di decarbonizzazione.

L'esperienza di utilizzo del Metaverso viene resa disponibile in vari modi. Con il termine realtà estesa o XR, che significa "realtà incrociata", si intendono tutte le tecnologie immersive che arricchiscono il nostro mondo reale e lo integrano con elementi virtuali. Esistono tre tipi di realtà estesa al momento. La realtà virtuale "Virtual Reality" (VR) crea un mondo totalmente digitale che non ha corrispondenza nella realtà. La realtà aumentata "Augmented Reality" (AR) invece arricchisce il mondo reale con ologrammi, grafica e video virtuali che creano una presenza reale.

L'AR permette agli utenti di interagire con elementi multimediali inseriti nello spazio fisico, offrendo un'esperienza singolare. La realtà mista (MR) è un tipo di realtà estesa che combina elementi di AR e VR. Consiste nel mescolare il nostro mondo reale con quello virtuale e creare così un ambiente nuovo.

Modello	Creazione di un ambiente totalmente virtuale	Oggetti virtuali arricchiscono il mondo reale	La combinazione di ambiente reale e virtuale
Rapporto tra mondo reale e virtuale	Il mondo è esclusivamente virtuale e quello reale viene escluso	Il mondo reale si trova al centro della percezione	Gli elementi reali e virtuali sono interconnessi
Tecnologia di accesso	Dispositivo specifico	Smartphone, tablet o PC	Dispositivo specifico

³⁷ NVIDIA Cloud XR è una piattaforma di *streaming* per realtà virtuale e aumentata, che sfrutta le GPU NVIDIA RTX per esperienze immersive. Sito della piattaforma: <https://www.nvidia.com/it-it/design-visualization/solutions/cloud-xr/xr-technologies/>

³⁸ Google Immersive Stream for XR è un servizio di Google Cloud per ospitare e trasmettere esperienze interattive 3D e AR a vari dispositivi. Sito del servizio: <https://cloud.google.com/immersive-stream/xr?hl=it>

La maturità dei sensori miniaturizzati, della tecnologia *embedded* e della tecnologia XR, come i display montati sul casco (Head Mounted Display) rende questi ultimi i principali punti di accesso per entrare nel Metaverso³⁹.

L'XR offre immersività multisensoriale tramite display olografici in grado di proiettare frontalmente, "Human-Computer Interaction" (HCI) e tramite la modellazione 3D per creare esperienze aumentata e interazione utente/*avatar*/ambiente in tempo reale. I dispositivi XR indossabili eseguono la percezione granulare delle informazioni specifiche per l'uomo, nonché il rilevamento di oggetti e dintorni, con l'assistenza di dispositivi intelligenti per interni (ad esempio, telecamere). In questo modo, l'interattività utente/*avatar* non sarà più limitata a tecnologie come telefoni, portatili e laptop, ma a tutti i tipi di dispositivi interattivi collegati al Metaverso.

Esistono due tipi di visori olografici che si possono trovare sul mercato: I visori VR, prodotti in grado di creare un'esperienza immersiva nel quale l'utente è circondato da un mondo artificiale generato dal visore stesso (se ha un processore) o da un dispositivo collegato. La realtà virtuale viene impiegata principalmente per il divertimento, ad esempio i videogiochi o la fruizione di contenuti interattivi. Alcuni esempi sono Meta Quest 3 di Meta⁴⁰, il PlayStation VR 2⁴¹ e Apple Vision Pro⁴². I visori AR sono invece pensati per utilizzare la cosiddetta realtà aumentata. La differenza dalla realtà virtuale (VR) è significativa: qui le immagini create artificialmente si aggiungono alla realtà, per questo si parla di "realtà aumentata". Questi visori offrono la possibilità di applicazioni molto interessanti: si possono mostrare parti di oggetti per facilitare il lavoro di un tecnico o di un progettista, sovrapporre informazioni o indicazioni, generare sfondi o oggetti che si armonizzano con l'ambiente circostante. Tra questi troviamo Microsoft HoloLens, il dispositivo AR più evoluto attualmente in commercio, che assicura una risoluzione capace di integrare oggetti 3D. Il dispositivo rileva anche il movimento degli occhi e delle mani per poter interagire in modo naturale con il mondo virtuale. Il Magic Leap One⁴³ ha dei sensori avanzati e una "comprensione del mondo", registrando il profilo e il contenuto del tuo spazio di lavoro in modo che le applicazioni si integrino in modo intelligente nell'ambiente circostante.

³⁹ M. Sugimoto, *Extended reality (XR:VR/AR/MR), 3D printing, holography, A.I., radiomics, and online VR Tele-medicine for precision surgery in Surgery and Operating Room Innovation*. Singapore: Springer, Nov. 2021, pp. 65–70.

⁴⁰ *Meta Quest 3* è un visore sviluppato da Meta per realtà mista con grafica avanzata, audio potenziato e design migliorato, offrendo un'esperienza immersiva. Sito del prodotto: <https://www.meta.com/it/quest/quest-3/>

⁴¹ *PlayStation VR 2* è un visore creato per la realtà virtuale di nuova generazione con display OLED. Sito del prodotto: <https://www.playstation.com/it-it/ps-vr2/>

⁴² *Apple Vision Pro* è un visore per la Realtà Aumentata con 23 milioni di pixel e design simile a occhiali da sci. Lanciato il 1° febbraio 2024. Sito del prodotto: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>

⁴³ *Magic Leap One* è un visore leggero con soluzioni pronte per l'uso aziendale, che abilitano assistenza remota, istruzioni di lavoro digitali e incontri 3D. Sito del prodotto: <https://www.magicleap.com/>

I video a 360 gradi sono un modo per arricchire le esperienze 3D, creando una comunicazione più “immersiva” per il fruitore. Questi video possono essere integrati nel Metaverso e permettono di passare dal virtuale al reale, o viceversa. La scena non si limita a ciò che lo spettatore vede davanti a sé, ma si espande in tutte le direzioni: l’utente si trova al centro della scena, si sente parte dell’evento e può cambiare il suo punto di vista semplicemente guardandosi attorno. Per produrre i video a 360, fruibili con visori 3D, mobile e PC, si usano delle fotocamere particolari, che catturano le immagini contemporaneamente in ogni direzione.⁴⁴

Blockchain: per essere persistente, il Metaverso dovrebbe essere costruito su un’architettura decentralizzata per evitare rischi di scarsa trasparenza e controllo da parte di poche entità. Inoltre, l’economia virtuale fornita dalla *blockchain* è una componente essenziali del Metaverso. Le tecnologie *blockchain* offrono una soluzione aperta e decentralizzata, in grado di costruire una economia virtuale sostenibile. La *blockchain* è un registro distribuito, in cui i dati sono strutturati in blocchi concatenati e caratterizzati da decentralizzazione, immutabilità, trasparenza e verificabilità. Inoltre, gli *smart contract* possono essere implementati in cima alla *blockchain* per consentire l’esecuzione automatica di funzioni tra le parti in un modo prescritto. Gli NFT Non-Fungible Token (NFT) rappresentano token insostituibili e indivisibili, che possono aiutare l’identificazione degli asset e la provenienza della proprietà. De-Fi è l’acronimo di finanza decentralizzata, che mira a fornire servizi finanziari sicuri, trasparenti e complessi (ad esempio, scambio di azioni/valute) nel Metaverso.

5. Cosa sarà il Metaverso?

Il Metaverso e le sue caratteristiche avranno il potenziale di trasformare diversi settori, tra cui possiamo menzionare l’industria, il commercio, l’istruzione, il *gaming* e gli eventi pubblici.

Nei prossimi paragrafi presenteremo prototipi rappresentativi esistenti nelle diverse applicazioni.

⁴⁴ L’articolo *eXtended Reality: Esperienze Immersive e Comunicazione Evoluta* di Arianna Ceccarelli, Luca De Marco, Filippo Della Betta, Luca Giacomello, è stato pubblicato da Gruppo TIM al seguente indirizzo: <https://www.gruppotim.it/it/newsroom/notiziario-tecnico-tim/2022/n2-2022/eXtended-Reality-Esperienze-Immersive-Comunicazione-Evoluta.html>

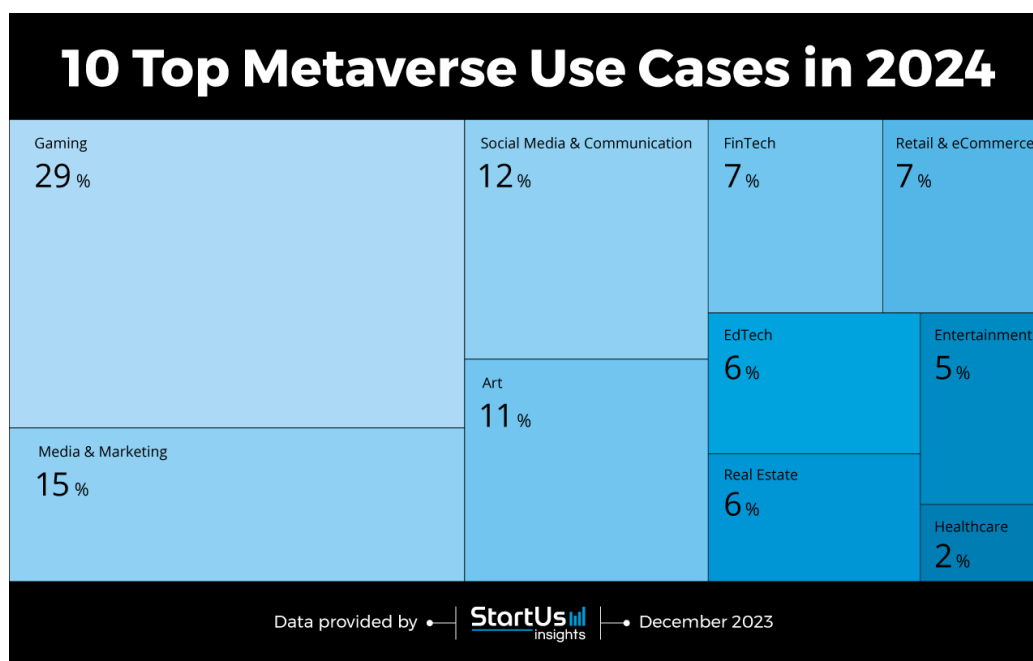


Fig. 5: i 10 principali settori di sviluppo del Metaverso ⁴⁵

Gaming: il gioco è la forma più diffusa del Metaverso in questo momento. I giochi sono un ottimo modo per sperimentare il Metaverso, perché hanno una buona tecnologia, un buon accoppiamento tra utenti e adattabilità dei contenuti. L'industria dei giochi sta usando piattaforme come Unreal Engine e Blender, per creare giochi per il Metaverso. L'hardware VR, come il nuovo visore Apple VR che abbiamo già citato, rende ancora migliore l'accesso al Metaverso per i giocatori. Elenchiamo alcuni esempi di giochi del Metaverso. *Second Life*, un mondo virtuale 3D, dove i giocatori possono creare i loro *avatar* e le loro costruzioni virtuali e venderle, e anche fare attività sociali come mostre d'arte, incontri e concerti. Roblox è una piattaforma di gioco fatta dagli utenti, dove i giocatori possono fare giochi e disegnare oggetti, come ad esempio i vestiti. Fortnite è un grande gioco *online* di combattimento multigiocatore (MMO) realizzato da Epic Games, dove i giocatori possono fare edifici e *bunker* e fare isole, ma gli oggetti di gioco come le *skin* possono essere progettati solo dalla piattaforma.

Esperienza sociale: I produttori di contenuti e gli esperti di marketing usano il metaverso per creare esperienze molto coinvolgenti e interattive per il loro pubblico. Il metaverso offre possibilità per eventi virtuali, conferenze eventi musicali ed esposizioni, permettendo ai marchi di raggiungere una platea globale e favorire relazioni significative. Ad esempio, Lil Nas X si è esibito davanti a milioni di persone in due giorni e quattro concerti a novembre del 2020, suonando in un'ambientazione

⁴⁵ L'articolo analizza le principali applicazioni del Metaverso nel 2023 e 2024, esplorando l'impatto su diverse industrie. Pubblicato su *StartUs Insights*. Sito dell'articolo: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/metaverse-use-cases/>

su Roblox⁴⁶. Gli concerti hanno ottenuto 33 milioni di visualizzazioni. Ad aprile, Fortnite ha ospitato una performance altrettanto impressionante di Travis Scott che ha attirato 45,8 milioni di spettatori in cinque concerti. Lo spettacolo di Scott ha avuto 27,7 milioni di partecipanti unici⁴⁷.

Arte: Il Metaverso è uno strumento per gli artisti che vogliono esprimersi e mostrare le loro opere in ambienti virtuali immersivi. In questo modo, possono farsi conoscere da un pubblico mondiale e superare le limitazioni fisiche. Anche gallerie e istituzioni d'arte organizzano mostre virtuali per permettere ai visitatori di scoprire e interagire con le opere d'arte. Altri modi in cui il Metaverso si applica al settore dell'arte sono, tra l'altro, spazi espositivi arricchiti, mercati d'arte virtuali e conservazione e archiviazione artistica. Esistono svariati esempi di mostre ed eventi sul Metaverso sin dalla nascita di *Second Life* ai giorni nostri, dove vengono introdotti anche meccanismi di *blockchain* e NFT per garantire l'autenticità dell'opera. Un'altra possibile applicazione è la simulazione 3D, la modellazione e la progettazione architettonica nel Metaverso. Per esempio, NVIDIA ha sviluppato la sua piattaforma aperta chiamata Omniverse⁴⁸ per consentire la simulazione 3D in tempo reale e multiutente e la rappresentazione di oggetti fisici e attributi in uno spazio virtuale condiviso per applicazioni industriali, come la progettazione automobilistica.

Collaborazione online: il Metaverso offre anche nuove opportunità per la collaborazione virtuale immersiva utili durante lo *smart e hybrid working*, permettendo lo studio e l'apprendimento in classi virtuali e le discussioni e le riunioni in stanze di conferenza virtuali. Ad esempio, Horizon Workroom è un software di collaborazione per l'ufficio lanciato da Meta, che permette alle persone da qualunque luogo fisico di lavorare e incontrarsi nella stessa stanza virtuale. Microsoft Mesh è una piattaforma MR basata su Azure, che consente agli utenti da diversi siti di cooperare virtualmente tramite la presenza olografica e l'esperienza condivisa da qualsiasi luogo in una replica digitale del proprio ufficio. Il Metaverso offre opportunità per il settore sanitario di migliorare la formazione medica e la pianificazione chirurgica. Le simulazioni mediche realistiche e coinvolgenti permettono ai medici di esercitarsi in procedure e trattamenti in un ambiente controllato e sicuro. Per questo, i medici, usano dispositivi VR e programmi di formazione personalizzati, aumentando la qualità della formazione

⁴⁶ L'evento *Lil Nas X Concert Experience* su Roblox, per promuovere la canzone "HOLIDAY", si è tenuto dal 10 al 15 novembre 2020. Sito che menziona l'evento: https://roblox.fandom.com/wiki/Lil_Nas_X_Concert_Experience

⁴⁷ L'articolo di *The Verge* descrive il concerto virtuale di Lil Nas X su Roblox, con 33 milioni di visualizzazioni. Pubblicato il 16 novembre 2020. Sito dell'articolo: <https://www.theverge.com/2020/11/16/21570454/lil-nas-x-roblox-concert-33-million-views>

⁴⁸ NVIDIA Omniverse è una piattaforma per lo sviluppo e la collaborazione in *OpenUSD*, con l'ultimo aggiornamento datato 11 giugno 2024. Sito della piattaforma: <https://www.nvidia.com/it-it/omniverse/>

medica e fornendo esperienze pratiche. Ad esempio, la startup 8chili⁴⁹ ha creato una piattaforma di realtà virtuale, HintVR, che produce modelli 3D di organi con precisione inferiore al millimetro.

Questi modelli aiutano i chirurghi a preparare meglio gli interventi chirurgici e a valutare meglio i rischi prima delle operazioni. La startup Virtuosi VR⁵⁰ ha sviluppato una soluzione di VR per l'apprendimento digitale *on-demand* che usa video, grafica e immagini per offrire corsi per terapie avanzate (ATMP) e prodotti di terapia genica (CGT). Il suo ambiente di apprendimento virtuale permette agli studenti e ai tirocinanti di esplorare e imparare nelle strutture virtuali garantendo agli istituti di ricerca sessioni di formazione efficaci e ad alte prestazioni.

6. Conclusioni

Sebbene abbiamo visto diversi casi di utilizzo delle singole piattaforme, l'analisi del nuovo Osservatorio Realtà Aumentata e Metaverso della School of Management del Politecnico di Milano del 2023 evidenzia che il Metaverso, anche se molto attraente, non è ancora una realtà, ma solo un concetto. I mondi virtuali sono in aumento e le imprese ci stanno puntando, ma non raggiungono i requisiti del Metaverso, data l'impossibilità di assicurare una interconnessione tra i diversi mondi virtuali. Infatti, con il termine Metaverso si intende un ecosistema immersivo, persistente, interattivo e interoperabile, fatto di mondi virtuali collegati tra loro dove le persone possono socializzare, lavorare, fare transazioni, giocare e creare, usando strumenti di realtà estesa.

L'Osservatorio ha analizzato la presenza di 141 mondi virtuali e ha scoperto che solo il 44% (62 piattaforme) può essere considerato Metaverse Ready, cioè accessibile liberamente da chiunque, con grafica 3D, attività economica, persistenza e componenti di interoperabilità che consentirebbero di usare gli asset digitali in modo *cross-platform*. Il 33% dei mondi è Open World, cioè uno spazio virtuale aperto, persistente, modulabile e immersivo, che ospita progetti di ogni area di interesse, utilizzabili sia per scopi di business che per scopi sociali, ma senza elementi per favorire l'interoperabilità. Il 19% è della categoria Focused World, cioè dei mondi virtuali specializzati su una specifica area di interesse (*gaming*, commercio, formazione, collaborazione lavorativa). Ci sono infine Showrooming World (il 4% del totale), ossia vetrine virtuali dedicate all'esposizione, ad esempio di opere d'arte di artisti e

⁴⁹ 8chili è una startup di San Ramon, CA, che sviluppa piattaforme VR per formazione immersiva, riconosciuta da Gartner tra le aziende emergenti nel Metaverso. Sito della startup: <https://www.8chili.com/>

⁵⁰ Virtuosi VR è una startup innovativa che si concentra sulla creazione di spazi espositivi virtuali, specializzandosi in contenuti real-time per il settore artistico. Sito della startup: <https://www.virtuosivr.com/product>

collezionisti, senza possibilità di creazione da parte dell'utente e senza un'economia interna.

Acronimi

Lista di acronimi ordinata alfabeticamente:

3D - Tridimensionale
AI - Artificial Intelligence
API - Application Programming Interface
AR - Augmented Reality
ATMP - Advanced Therapy Medicinal Product
BCI - Brain Computer Interface
CGT - Carrier Genetic Test (Test di compatibilità genetica)
FBX - FilmBoX Autodesk file format
FPS - Frame per secondo
FT - Fungible Token
GBPS - Gigabit Per Second
GLB - GLTF binary format
GLTF - Graphics Language Transmission Format
GPU - Graphics Processing Unit
HCI - Human-Computer Interaction
IoT - Internet of Things
LEO - Low Earth Orbit
MMO - Massive Multi-player Online
MR - Mixed Reality
MS - Millisecondi
NFT - Non-Fungible Token
NPC - Non-Player Character
QoS - Quality of Service
SAGIN - Space-Air-Ground Integrated Network
SDN - Software Defined Network
SPoF - Single Point of Failure
VR - Virtual Reality
WEB - World Wide Web
W3C - World Wide Web Consortium
XR - eXtended Reality