

Dai fondamenti del metaverso alle tecnologie abilitanti*

di Fulvio Ananasso, Glauco Ciprari, Sergio Farruggia, Maristella Matera, Diego Morra, Nicola Oretti, Alessandro Perrino, Emanuele Pucci, Andrea Cristina Tassoni e Claudia Trivilino

Architetture della rete a nuovi standard del web¹

Almeno al momento, non esiste un'unica definizione di 'metaverso'. Al più, almeno allo stato, sembra potersi parlare di 'metaversi' o, ancora meglio, di 'meta-mondi', ossia di mondi o ambienti digitali virtuali ad oggi separati.

Allo stato, il termine 'metaverso' può probabilmente essere utilizzato come termine ombrello per riunire i vari ambienti digitali esistenti e, forse, si potrà parlare di un metaverso se e quando i vari meta-mondi esistenti saranno tra di loro collegati.

Definito come meta-mondo un ambiente digitale simulato, è possibile aggiungere che ciascun meta-mondo può utilizzare, ma non necessariamente utilizza, talune tecnologie abilitanti[, di cui si dirà meglio nel successivo paragrafo 2(c)], quali tecnologie di realtà aumentata e realtà virtuale, di intelligenza artificiale, insieme a tecnologie DLT (*distributed ledger technologies*, tra cui, la blockchain), per creare spazi di interazione digitale-virtuale tra utenti che mimano quelle del mondo reale, secondo i concept tipici dei social media, per vivere esperienze digitali.

Poi, più in generale, alla luce delle definizioni di metaverso sinora emerse [quali quelle di cui al paragrafo 1,] sembra che si possa prendere atto, da un lato, della suggestività del termine, che ci rimanda all'idea di cyberspazio (Gibson, *Neuromancer*, 1984) e, dall'altro, del fatto che tale concetto comunque irrompe nell'ambito del diritto per quanto possa

* È il testo di un capitolo del paper 97 di Astrid, *Metaverso: definizioni, tecnologie e modelli di business*, elaborato nell'ambito della ricerca Astrid-LED su *Metaverso: mercati e regole*, coordinata da Fabiana Di Porto e Andrea Stazi. Questo paper è stato predisposto da uno specifico sottogruppo coordinato da Federico Merola e Ettore Russo. Il testo completo del paper può essere letto qui: https://www.astrid-online.it/static/upload/protected/pape/paper_metaverso_maggio_2024.pdf

¹ Sezione a cura di Andrea Cristina Tassoni

essere complesso da sostanziare o esaminare attraverso la lente delle categorie tecniche e giuridiche sino ad oggi a noi note.

Ora, quanto alle categorie tecniche, può forse essere utile mettere ordine dando, in via di prima di prima approssimazione, alcune definizioni di Internet e Web, ponendole in relazione tra loro e al metaverso.

1. Internet. Architettura di Internet e architetture di rete

Internet - come la conosciamo - è una rete pubblica di calcolatori, una infrastruttura di rete che (a) si compone di elementi *hardware e software* e (b) fornisce servizi ad applicazioni distribuite che coinvolgono più sistemi periferici che si scambiano reciprocamente dati.

È sempre Internet che fornisce alle applicazioni il servizio di trasmissione dati da un'applicazione (software) eseguita su un sistema emittente a una parte di *software* eseguita su un altro sistema periferico, ricevente. Ciò non cambia per il solo fatto che ci si connette a Internet con *smartphone, tablet* e altri dispositivi, con 'cose' che sono via via connesse (TV, *console* di gioco, elettrodomestici, occhiali, orologi, etc.) che sono diverse dai 'calcolatori', 'dispositivi di calcolo' o di 'elaborazione', ossia dai PC tradizionali. Questi dispositivi e oggetti rappresentano comunque *host o end system* (sono i sistemi periferici sopra richiamati). Almeno sinora, i sistemi periferici (i) sono tra loro connessi da una rete di collegamenti (*communication link*) che può essere costituita da vari mezzi fisici, i quali, a loro volta, consentono diverse velocità di trasmissione dati, e commutatori di pacchetti (*packed switch*, e.g., i *router*); (ii) accedono a Internet grazie agli *Internet Service Provider* ("ISP"). I *provider* possono essere concepiti come insiemi di collegamenti e commutatori che fanno uso di protocolli IP. I due principali protocolli di Internet rimangono - ad oggi - il *Transmission Control Protocol* ("TCP") e, appunto, l'*Internet Protocol* ("IP"), che specifica il formato dei pacchetti scambiati tra *router* e sistemi periferici. È sempre un protocollo a definire il formato e l'ordine dei messaggi scambiati tra due o più entità in comunicazione, così come le azioni intraprese in fase di ricezione o trasmissione del messaggio o altro evento.

Quanto all'architettura di Internet, si può parlare - tra l'altro - di architettura a livelli. I progettisti organizzano i protocolli e l'*hardware e software* che li implementano in livelli o strati (*layer*). Ogni livello fornisce il suo servizio effettuando determinate azioni all'interno del livello stesso e utilizzando i servizi del livello immediatamente (gerarchicamente) inferiore. Ciascun protocollo appartiene a un livello. Considerati insieme, i protocolli dei vari livelli sono detti 'pila di protocolli'. La pila dei protocolli di Internet è composta da cinque livelli (gerarchicamente crescenti): fisico, collegamento, rete, trasporto e applicazione.

La stratificazione dei protocolli in livelli fornisce un modo strutturato per organizzare i nostri pensieri intorno all'architettura di Internet (e delle reti). Ecco perché Internet è una rete di reti. Ciascuna rete ha una sua architettura, che può essere variamente descritta – V. ad esempio Pietro Frasca - Sistemi operativi e reti.

Per essere più chiari, il compito dello strato fisico è di trasmettere i segnali corrispondenti ai bit da un nodo (calcolatore) al successivo. I protocolli in questione dipendono dalla tecnologia, modulazione, mezzo di trasmissione, utilizzati per le comunicazioni – wireless, fibre ottiche, ecc.

I protocolli dello strato di collegamento forniscono le procedure per instradare i bit / pacchetti in transito attraverso lo strato fisico sulla specifica architettura / tecnologia utilizzata sul link – WiFi, Ethernet.

A questo punto, lo strato di rete si occupa di instradare i pacchetti di dati (organizzati attraverso il protocollo IP, che definisce i campi nel “datagram” e le operazioni che *host* e *router* eseguono su questi campi) dall'*host* mittente all'*host* destinazione, definendo il percorso che i datagram devono seguire fra sorgente e destinazione.

Quando il pacchetto arriva a destinazione, l'IP passa il segmento allo strato di trasporto all'interno della destinazione. Il TCP, ad esempio, fornisce il controllo dei flussi, delle possibili congestioni, (lato mittente) frammenta i messaggi troppo lunghi in segmenti più corti e li riassume a destinazione, ecc.

2. Nuovi stadi del Web (Web3)

Il Web è un'applicazione di rete. Anzi, è la *killer application* di Internet.

Fino agli anni Novanta, Internet era utilizzata principalmente da ricercatori, docenti e studenti universitari per raggiungere *host* remoti, trasferire *file*, ricevere e inviare notizie e per la posta elettronica. Poi nei primi anni Novanta comparve sulla scena una nuova importante applicazione: il World Wide Web (Berners-Lee, 1994). Il Web è stata la prima applicazione di Internet, elevandola dall'essere 'una rete per i dati' al rango di unica e sola rete per i dati.

Il 'Web 1.0' aveva un modello aperto, ognuno poteva affacciarsi alla rete e dialogare con altri, si caratterizzava per siti e pagine non dinamiche e strumenti che permettevano una ridotta capacità di interazione e la presenza di una struttura informativa gerarchica: c'era chi forniva informazioni e chi ne fruiva, senza particolari scambi tra questi soggetti (F. Maddalena, Cos'era il Web 1.0?, in FabMad, 2013).

L'era del Web 2.0 è la fase che stiamo attualmente vivendo, dove "si perdono i confini tra reale e virtuale" (Web 2.0 conference di O'Reilly Media). Il passaggio dal 'Web 1.0' al Web 2.0 è coinciso con l'affermarsi dei *social network* (2004).

Infine, si è iniziato a parlare di Web3 nel 2006 come di un passaggio dal 'Web 2.0' a un web detto 'semantico'. Ciò si deve al web designer Jeffrey Zeldman (Web 3.0, in Alistapart.com).

Nel 'web semantico' i contenuti sono messi in connessione e possono essere individuati mediante ricerche e analisi automatiche basate sul significato: si parla di ontologie, agenti intelligenti e motori di ricerca semantici (L'evoluzione del web da 2.0 a 4.0, in Didelkts.it, 2015). In questo web semantico, i contenuti non sono più costituiti da pagine HTML, ma da nuove formule, da *database* che permettono ricerche accurate attraverso tecnologie di Intelligenza Artificiale dotate - appunto - di capacità semantiche in via di continua evoluzione.

3. Metaverso e Web3

Ora, quello che sembra possibile affermare è che il metaverso - almeno al momento - non coincide con il cd. 'Web3', per quanto forse si tratti di *trend* convergenti (ipotesi questa, che andrà verificata nel tempo, alla luce dell'evoluzione di entrambi i predetti fenomeni).

La possibile sovrapposizione può derivare anche dal fatto che si attribuisce a entrambi, Metaverso e Web3, la caratteristica della decentralizzazione, ossia si guarda ad essi come se essi fossero (sempre) governati attraverso modelli di gestione che si avvalgono di meccanismi di consenso diffuso, dove le decisioni sono prese in modo distribuito. Tuttavia, allo stato non sembra esista un metaverso decentralizzato e i meta-mondi esistenti non sono necessariamente decentralizzati e anzi, quello della decentralizzazione non sembra affatto un loro 'requisito' essenziale.

Poi, come sopra riferito, il Web è un'applicazione di rete ben individuabile. Tra le caratteristiche del Web, nel suo stadio attuale, ci sono le seguenti: il Web opera su richiesta (*on demand*); sul Web chiunque può rendere disponibili informazioni; collegamenti ipertestuali e motori di ricerca permettono di navigare nei siti; *form* e altri elementi ci consentono di interagire con pagine e siti; il Web fornisce una piattaforma a molte applicazioni (Kurose - Ross, cit.).

Il metaverso non sembra possa dirsi (almeno al momento) un'applicazione di rete: non c'è un unico metaverso né tantomeno uno che coincida con il web, lo sostituisca o lo inglobi. Le caratteristiche che si attribuiscono al metaverso ancora non sussistono - o almeno non sussistono del tutto (e.g., interoperabilità) o sono proprie dei singoli meta-mondi nonché di altre applicazioni (e.g., immersività, sincronicità).

Al più sono i meta-mondi a poter essere assimilati a una o più applicazioni di rete esistenti (posta elettronica, navigazione sul Web, messaggistica istantanea, social media, giochi *multiplayer*, etc.) a seconda delle loro caratteristiche prevalenti. Internet fornisce servizi al Web e ai meta-mondi.

Tuttavia, ad oggi non sembra che i meta-mondi sin qui esistenti siano dotati di un'unica architettura 'a livello di applicazione' (*application architecture*) o che le varie applicazioni di rete / meta-mondi si basino - o debbano basarsi - su una specifica architettura di rete (e.g., *client-server* o *peer-to-peer*).

Se il metaverso avrà una specifica architettura 'a livello di applicazione' o funzionerà in base a una specifica architettura di rete è questione che andrà chiarita con il tempo.

I fondamenti del metaverso²

Potremmo descrivere il metaverso come un insieme di spazi digitali interconnessi, accessibile attraverso una molteplicità di dispositivi e tecnologie diverse – occhiali per la realtà aumentata, visori per la realtà virtuale, *personal computer*, *smart display* e cellulari.

Grazie allo sviluppo di tecnologie sempre più all'avanguardia, le interazioni *online* diventeranno progressivamente più immersive consentendoci così di superare le limitazioni intrinseche dell'internet a due dimensioni. Il metaverso, quindi, sembra essere il prossimo e naturale passo nell'evoluzione dell'ecosistema digitale: nei primi anni 2000, la navigazione era limitata per lo più alla fruizione e alla redazione di testi scritti. Con l'arrivo degli *smartphone*, internet è diventato accessibile ovunque oltre che, grazie alle loro fotocamere, sempre più “visivo” e basato sulle immagini. E ancora, man mano che le connessioni sono diventate più efficienti, i video si sono affermati come mezzo privilegiato per condividere e comunicare la propria quotidianità e le proprie esperienze. Siamo passati dal *desktop* al web e dal web al mobile; dai testi alle foto e dalle foto ai video. Questa evoluzione ha di certo imposto anche una crescente attenzione all'inclusività e accessibilità delle tecnologie, oltre che ad uno sviluppo utente-centrico delle stesse.

Se il metaverso si differenzia dall'internet odierno in termini di qualità dell'esperienza vissuta e per il livello di interazione, ciò potrebbe non essere vero per il mondo in cui andrà a svilupparsi. Per molti, infatti, il metaverso si consoliderà secondo un processo di stratificazione e cristallizzazione di protocolli, standard e tecnologie molto simile a quello percorso da internet, dando vita ad una realtà globale, aperta e liberamente accessibile.

Per questo motivo, non si può disconoscere la necessità che alcuni pilastri dell'economia digitale di oggi vadano non solo preservati, ma ulteriormente valorizzati al fine di sostenere l'incredibile spinta innovativa che porterà alla disponibilità di realtà immersive.

Le precondizioni allo sviluppo del metaverso sono l'interoperabilità, un'economia globale basata sui dati, una connettività efficiente e una *user experience* efficace. Tutti elementi

² Sezione a cura di Claudia Trivilino

necessari per il buon funzionamento e il successo di questa tecnologia - si tratta di quelle che possiamo definire anche come condizioni di possibilità - senza cui il metaverso, per come lo immaginiamo, non potrebbe esistere.

Economia dei dati, connettività, interoperabilità³

1. Un'economia dei dati aperta e globale

La circolazione dei dati ha permesso di creare e sviluppare una serie di tecnologie, servizi, prodotti di uso comune e quotidiano per individui, imprese e organizzazioni pubbliche. Basti pensare al ruolo dei dati nello sviluppo di sistemi di Intelligenza Artificiale, nella ricerca transfrontaliera nel campo della sanità o nella tutela delle infrastrutture fisiche e digitali, nonché nella promozione di un modello produttivo che ha contribuito a democratizzare l'accesso al lavoro e alla possibilità di fare impresa.

I trasferimenti internazionali di dati sono parte integrante di quasi tutte le attività online e offline odierne. I maggiori benefici economici e sociali derivanti dai dati, come la riduzione dei costi e l'efficientamento delle produzioni, provengono proprio dall'aggregazione di rete dei flussi di dati transfrontalieri. In particolare, il trasferimento di dati tra gli Stati Uniti e l'UE ha un valore di circa 7,1 trilioni di dollari e contribuisce alla crescita mondiale più del commercio globale di beni. Tra gli Stati Uniti e l'Unione europea circola una quantità di dati superiore a quella di qualsiasi altra parte del mondo, infatti, circa la metà di tutti i flussi di dati negli Stati Uniti e in Europa sono proprio trasferimenti transatlantici.

Per comprendere quanto l'impatto in termini economici derivante da questi dati sia significativo, si stima che entro il 2030 l'economia dell'Unione europea beneficerà di almeno 3.000 miliardi di euro dal trasferimento di dati tra Europa e Stati Uniti. Queste stime attestano il grande valore di questi dati per l'economia europea e nazionale ma essi svolgono anche altre funzioni: contribuiscono a rafforzare la cooperazione transatlantica, aprono alle imprese nuovi mercati e nuove opportunità, permettono ai consumatori di accedere a servizi nuovi e più efficienti. Si tratta di valori significativi non solo sotto il profilo economico, infatti, tali flussi consentono di svolgere attività essenziali come la sperimentazione di vaccini in più Paesi, la condivisione di informazioni sulla sicurezza informatica e le attività antifrode e antiriciclaggio.

Ad oggi, il processo di trasferimento dei dati è parte integrante di ogni settore e di ogni tipo di organizzazione dell'economia mondiale contemporanea. Potenziali politiche di localizzazione dei dati impongono costi e sfide tecniche complesse invece che essere

³ Sezione a cura di Claudia Trivilino

orientati esclusivamente dalla volontà di efficientare le catene del valore. Il rischio reale è quello di trasformare queste politiche in limiti per il mercato e in vincoli imposti alla ricerca e all'innovazione tecnologica. In questo ambito, decisioni poco previdenti potrebbero inibire un grande *driver* di crescita economica, generando un impatto negativo sulle potenzialità future delle tecnologie emergenti. Per avere prova di quanto affermato, basta far riferimento ai risultati ottenuti dal *think tank* indipendente *Information Technology and Innovation Foundation* (ITIF) il quale ha riscontrato un legame diretto tra le politiche restrittive sui dati, la riduzione della produttività economica e l'aumento dei prezzi al consumatore. Alla luce di ciò, la realizzazione di politiche di localizzazione dei dati inciderebbe direttamente, in maniera negativa, anche sul tenore di vita delle persone.

Alla luce di queste considerazioni, il trasferimento transfrontaliero dei dati è tra le condizioni abilitanti essenziali del continuo sviluppo innovativo e, in ultima analisi, dello sviluppo del metaverso come naturale evoluzione del mondo digitale come lo conosciamo oggi.

Internet nasce e si sviluppa quale strumento di libertà dalla natura aperta, ciò che vuole rappresentare e incarnare anche il metaverso. Un sistema aperto fondato sui valori democratici che non deve essere snaturato da restrizioni imposte a livello regionale che rischiano di incidere profondamente sulla libertà di questo strumento e sulle prospettive tecnologiche ed economiche della società.

2. Connettività

L'Europa ha evidenziato l'importanza che la connettività riveste per supportare lo sviluppo tecnologico, da ultimo, nel Digital Compass 2030 che stabilisce specifici criteri per la realizzazione di connettività gigabit a beneficio della società nella sua globalità.

L'innovazione necessita di una connettività efficiente, e il legislatore italiano ne è consapevole. Infatti, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) dedica risorse estensive per migliorare la connettività mobile e lo sviluppo delle tecnologie 5G, e ambisce ad offrire una connettività omogenea ad alta velocità in tutto il paese a beneficio di cittadini, aziende, scuole e ospedali, specialmente nelle zone rurali.

Questi investimenti sono prodromici allo sviluppo del Web 3, delle tecnologie immersive e del metaverso, ed essenziali per rispondere alla necessità di offrire una connettività ampiamente accessibile affinché le nuove tecnologie siano inclusive per tutti.

Confrontarsi con esperienze in *Virtual Reality* (VR) così come i nuovi dispositivi che caratterizzano il metaverso, porta necessariamente a nuove riflessioni relative al tipo di connettività che ne è più funzionale. Queste esperienze, che si realizzano prettamente in

spazi chiusi, necessitano di connettività fissa e stabile in spazi al chiuso, ampiamente fondata sulla disponibilità di connessioni Wi-Fi efficienti.

In tale prospettiva, ricopriranno un ruolo fondamentale le decisioni che verranno prese a livello nazionale ma soprattutto internazionale, nel contesto della destinazione senza licenza di specifiche frequenze dello spettro. Una delle azioni da portare avanti in tal senso è quella di garantire la disponibilità delle bande di spettro come la banda U6, nella prospettiva di rispondere alle nuove esigenze del mercato e agli obiettivi nazionali ed internazionali di connettività, transizione digitale e sviluppo economico.

L'allocazione di spettro non licenziato alle reti Wi-Fi, ispirato al principio della neutralità tecnologica, esercita sulle nuove tecnologie un'importante funzione di traino a supporto dell'ecosistema fatto di startup, piccole e medie imprese, nonché sui settori dell'IoT e *Industrial IoT* (Impresa 4.0). Connessioni Wi-Fi più efficienti completano la disponibilità delle connessioni in fibra in modo più sostenibile. ARCEP (*Autorité de régulation des communications électroniques*) sottolinea che il modo migliore per ridurre l'impronta ambientale è mantenere il traffico sulla rete in fibra il più a lungo possibile e, idealmente, fino ai punti di accesso WiFi.

Infine, la connettività è un tema che assume rilevanza globale per la costruzione del metaverso, perché per connettere e avvicinare persone lontane nel pianeta serve investire in questo settore su scala internazionale, agendo anche dal punto di vista normativo in modo coordinato e coerente. L'allineamento del regime giuridico dello spettro con quello di altre regioni ha una notevole rilevanza, anche alla luce dei meccanismi virtuosi che attiva in termini di economie di scala e diffusione di nuove e più avanzate soluzioni tecnologiche che beneficiano della non licenziabilità della banda.

3. Interoperabilità

L'interoperabilità è un principio tecnico che serve a garantire l'interazione tra le diverse tecnologie del metaverso. Lo sviluppo di protocolli e standard tecnici avrà la funzione di interconnettere le componenti in modo da consentire agli utenti di spostarsi facilmente tra spazi ed esperienze diverse e di portare con sé i propri oggetti digitali. Questo principio ha un significativo valore pratico che mira a garantire la natura di sistema aperto.

Infatti, senza un certo livello di interoperabilità, il metaverso risulterebbe frammentato e composto da compartimenti stagni. Al fine di evitare questo scenario e per esprimere il pieno potenziale di questa tecnologia, l'interoperabilità è una condizione necessaria.

Questi standard però, così come i protocolli di interoperabilità, non saranno tutti immediatamente disponibili ma verranno presumibilmente sviluppati nel corso del tempo, da individui e aziende diverse. Saranno quindi il frutto del lavoro, della collaborazione e del confronto tra istituzioni e organizzazioni internazionali. Pertanto, anche sotto questo

profilo, lo sviluppo del metaverso sarà simile al percorso grazie al quale si è sviluppato internet, un susseguirsi di iniziative di realtà differenti, pubbliche e private, che collaboreranno secondo diverse modalità, e diversi gradi di partecipazione, allo sviluppo di questa tecnologia.

In tale prospettiva, sarà importante per istituzioni, imprese e associazioni partecipare a forme di cooperazione intersettoriale come, ad esempio, il *Metaverse Standards Forum*, il quale riunisce le principali organizzazioni di sviluppo degli standard nonché aziende per la cooperazione a livello industriale sugli standard di interoperabilità.

Human Computer Interaction (HCI), User eXperience (UX) e Inclusività⁴

L'interazione uomo-macchina (*Human-Computer Interaction*, HCI) è una disciplina che studia l'interazione tra le persone (utenti) e i sistemi informatici e propone metodi centrati sugli utenti per la progettazione e lo sviluppo di sistemi interattivi che siano usabili, affidabili e che supportino e facilitino le attività umane. Questa area di ricerca è diventata importante man mano che la pervasività della tecnologia in ogni aspetto della società ha richiesto la definizione di interfacce e di modalità di interazione sempre più avanzate e allo stesso tempo alla portata di tutti. La diffusione e l'impatto preponderante delle "esperienze dell'utente" create e plasmate dalle tecnologie interattive e dai media digitali hanno portato poi alla creazione di un settore nuovo, lo UX (*User Experience*) Design.

La progettazione di esperienze utente e di paradigmi di interazione richiede l'applicazione di processi di progettazione antropocentrici (*human-centered design*), che l'International Standard Organization (ISO) definisce nel seguente modo:

"La progettazione centrata sull'uomo è un approccio allo sviluppo di sistemi interattivi che mira a rendere i sistemi usabili e utili concentrandosi sugli utenti, i loro bisogni e requisiti, e applicando fattori umani ed ergonomici, conoscenze e tecniche di usabilità. Questo approccio migliora l'efficacia e l'efficienza dei sistemi interattivi, migliora il benessere umano, la soddisfazione degli utenti, l'accessibilità e la sostenibilità, contrasta i possibili effetti negativi dell'uso sul benessere, la sicurezza e le prestazioni degli utenti delle tecnologie".

La diffusione delle tecnologie interattive porta poi con sé l'enfasi sull'inclusività dei prodotti digitali e su metodi di progettazione in grado di garantire l'inclusività. Negli ultimi anni si sono quindi affermate metodologie per l'*inclusive design*, che estendono i metodi dello *human-centered design* per poter riconoscere l'intera gamma della diversità umana.

⁴ Sezione a cura di Maristella Matera, Emanuele Pucci e Diego Morra

Il metaverso è l'ultima frontiera (e probabilmente la più rivoluzionaria) per lo studio dell'interazione uomo-macchina e della UX, un ambiente digitale in cui le persone interagiscono con servizi e contenuti digitali utilizzando tecnologie immersive, che potrebbe plasmare un nuovo modo per le persone di interagire e socializzare, quindi nuove esperienze utente.

1. Il metaverso è interattivo

Il metaverso sta guadagnando slancio come ambiente digitale in cui le persone interagiscono utilizzando tecnologie immersive. Avatar, rilevamento del comportamento in tempo reale e *digital twin* sono elementi caratterizzanti che cambieranno il modo in cui "navighiamo" in Internet: invece di visualizzare e leggere i contenuti, gli utenti del metaverso potranno interagire in modo immersivo con oggetti digitali e agenti *software*, sentire la presenza di altri utenti, vedere, muoversi e posizionarsi all'interno di spazi virtuali. Esistono, infatti, diverse definizioni ma anche diverse sfumature che attualmente caratterizzano il metaverso come uno spazio in grado di fornire nuove esperienze che combinano nuovi *feedback* tattili, sensoriali e cognitivi, e che possono migliorare l'attuale esperienza "bidimensionale" offerta dai dispositivi tradizionali.

Il metaverso sta quindi dando forma a un nuovo paradigma di interazione con le tecnologie, che porterà anche grandi cambiamenti nelle interazioni sociali, nelle pratiche lavorative, nell'intrattenimento. Alcuni studi prevedono che entro il 2026 un quarto della popolazione trascorrerà almeno un'ora al giorno nel metaverso. Questa proiezione pone l'attenzione su diverse opportunità ma anche su numerose sfide che influenzeranno la progettazione della UX e dell'inclusività del metaverso.

2. Il metaverso è incentrato sull'utente

Oltre a essere un'applicazione interattiva, il metaverso è per sua definizione fortemente centrato sulla esperienza utente. Ogni sua componente dovrebbe quindi essere progettata ponendo l'attenzione sulla qualità dal punto di vista dell'utente⁵ e fornire una UX efficace basata su paradigmi di interazione comprensibili, usabili e accessibili⁶.

Tale impostazione sarebbe anche in linea con gli obiettivi fissati dagli SDGs (*Sustainable Development Goals*) 2030 delle Nazioni Unite che riguardano inclusione, diversità, equità, accessibilità e sicurezza. Questi requisiti stanno diventando pilastri fondamentali

⁵ L.-H. Lee, T. Braud, P. Zhou, L. Wang, D. Xu, Z. Lin, P. Hui

All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. <https://arxiv.org/abs/2110.05352>.

⁶ Yogesh K. et al., Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy, *International Journal of Information Management*, Volume 66, 2022, 102542, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>.

su cui costruire il mondo fisico, ma anche proprietà fondamentali degli ambienti immersivi digitali. Garantire inclusione, rispettare la diversità, accessibilità a risorse e servizi, garantire comportamenti etici, e tutelare la sicurezza e la *privacy* di tutti gli utenti di età, cultura, abilità, genere, lingua e religione differenti sono i capisaldi di un manifesto che sottolinea l'importanza di mettere le persone al centro.

3. Progettare l'interazione e la UX

Nel metaverso l'interazione tra uomo e computer tornerà ad assomigliare a quella che le persone hanno con gli spazi fisici. Questo pone il focus sulla necessità di una nuova generazione di studi sulle interazioni uomo-macchina, che si basino sul concetto di disponibilità delle informazioni, anche quelle provenienti dal mondo reale, in uno spazio virtuale tridimensionale. L'accesso e l'interazione con le informazioni avverranno quindi in due diverse modalità principali. La prima consiste nella trasposizione di interfacce 2D all'interno di ambienti 3D. Come avviene già oggi con dispositivi come Oculus e Hololens, all'interno degli ambienti virtuali sono resi disponibili pannelli di controllo e altre tipologie di navigazione 2D che l'utente può richiamare per spostarsi a proprio piacimento nello spazio. Sebbene questo metodo di interazione sia attualmente efficace e pratico, esso è figlio di un concetto di interazione basato su interfacce che nascono su schermi 2D. L'interazione nel metaverso offrirà invece l'opportunità di utilizzare sfumature a cui l'utente è abituato nel mondo reale. Le tradizionali interfacce visuali lasceranno il posto a spazi virtuali immersivi; lo strumento di ricerca diventa l'interazione vocale o tattile con il sistema stesso, attribuendo quindi un valore chiave a quelli che possono essere definiti come paradigmi di interazione "naturali". Nell'interazione che collega il mondo fisico a quello virtuale, si intravedono alcuni aspetti emergenti:

- *Immersive UX*. Per ottenere un'esperienza utente immersiva il metaverso deve ricevere dati dal mondo fisico e materializzarli in quello virtuale tramite rendering 3D con tecnologie VR/AR. Inoltre, è necessario gestire il *feedback* multisensoriale. Tuttavia, le tecnologie esistenti possono supportare solo alcuni aspetti, ma non possono fornire un'esperienza utente completa. Restano quindi aperte le seguenti domande: Come integrare le modalità di input e output per costruire un'esperienza utente olistica? Quali dispositivi possono combinare meglio più canali sensoriali per immergere meglio gli utenti nel metaverso? Come ridurre il carico di interazione dell'utente derivante dalla molteplicità di tutti questi stimoli e canali di interazione?
- *Digital twins*. Oltre agli utenti, anche oggetti o elementi del mondo fisico, i cosiddetti *digital twins*, potrebbero essere parte dell'interazione nel mondo virtuale. Una delle principali problematiche riguarda l'allineamento degli oggetti fisici del

mondo reale con i loro *digital twins* nel mondo virtuale. Questo comporta il rilevamento, tramite sensori nel mondo fisico, dei parametri dei dispositivi fisici con cui configurare i *digital twins*, e il conseguente trasferimento dello stato che i *digital twins* raggiungono durante l'interazione ai dispositivi fisici. Lo sviluppo dei gemelli digitali nel metaverso è argomento complesso e multidisciplinare ed ancora nelle sue fasi iniziali. Le seguenti domande di ricerca meritano ulteriori approfondimenti: Cosa nel mondo fisico dovrebbe essere mappato come *digital twin* all'interno del metaverso? Come utilizzare i *digital twins* nel metaverso per trarre benefici dal mondo reale?

- *Meccanismi per la generazione di contenuti.* Bisognerà offrire agli utenti la possibilità di contribuire al metaverso con contenuti propri; questo sarà il valore del metaverso. Per la costruzione di *digital twins*, è possibile utilizzare approcci di ricostruzione 3D. Tuttavia, i sistemi attuali per la modellazione 3D sono inaccessibili a utenti non esperti. Quindi: Come costruire accuratamente *digital twins* nel mondo virtuale? In che modo l'interazione può facilitare la creazione di contenuti?

4. Sfide e opportunità per UX e inclusività

Molte sono le sfide e le opportunità che influenzeranno la progettazione del metaverso in ottica di Interazione, UX e inclusività. In letteratura, dimensioni importanti come diversità, uguaglianza e umanità sono proposte per un metaverso che può influenzare la futura "società digitale"⁷, ipotizzando il suo impatto trasformativo in settori come il *marketing*, l'istruzione, il turismo e la sanità. Anche se siamo ancora agli inizi, alcuni lavori già promuovono nuovi costrutti visivi e tecniche di interazione⁸, evidenziando come la grafica, l'interazione e le tecniche di visualizzazione siano elementi determinanti per supportare la costruzione del metaverso e permettere agli utenti la sua esplorazione.

Emergono chiaramente diverse sfide che possono essere affrontate attraverso metodologie che partono dallo studio degli utenti e dei loro bisogni, seguendo un processo di progettazione *human-centric*. Per esempio, uno studio condotto con un *pool* di esperti di tecnologie provenienti dal mondo dell'industria⁹ individua cinque macroaree che possono

⁷ Yogesh K. et al., Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy, *International Journal of Information Management*, Volume 66, 2022, 102542, <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>.

⁸ Yuheng Zhao, et al. Metaverse: Perspectives from graphics, interactions and visualization, *Visual Informatics*, Volume 6, Issue 1, 2022, Pages 56-67, <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2022.03.002>.

⁹ Matteo Zallio, P. John Clarkson, Designing the metaverse: A study on inclusion, diversity, equity, accessibility and safety for digital immersive environments, *Telematics and Informatics*, Volume 75, 2022, 101909, ISSN 0736-5853, <https://doi.org/10.1016/j.tele.2022.101909>.

avere impatto sullo sviluppo del metaverso e in cui è necessario agire partendo da un processo centrato sugli utenti.

- *Equità sociale e diversità*: la discriminazione e i pregiudizi possono essere amplificati dalle tecnologie del metaverso, soprattutto quando queste utilizzano tecniche e modelli dell'Intelligenza Artificiale (IA). Anche nel caso di comportamenti autonomi, guidati da modelli di IA, è importante poter individuare e prevenire possibili cause di discriminazione e pregiudizi attraverso opportuni metodi di progettazione, che partono dall'analisi degli utenti, delle loro caratteristiche, e dei contesti d'uso, e che portano allo sviluppo di sistemi che rispettino i principi recentemente proposti per la *Human-centered AI*¹⁰, nel tentativo di ottenere tecnologie sicure e delle quali gli utenti possano fidarsi.
- *Accessibilità*: questo è ancora un problema aperto. Al momento, per esempio, la maggior parte dei visori VR sono progettati per adulti di mezza età. Il che significa che i bambini e gli anziani che desiderano accedere al metaverso potrebbero avere un'esperienza di scarsa qualità indossando cuffie non progettate tenendo conto della loro età. Lo stesso vale per le persone con disabilità fisiche o sensoriali, ma anche per quelle con bassi livelli di alfabetizzazione digitale o limitato accesso ai dispositivi e alle tecnologie attualmente disponibili a causa dei costi elevati. Tuttavia, è importante notare che, nonostante queste limitazioni, la percezione relativamente all'accessibilità del metaverso è che ciò che nel mondo fisico potrebbe essere considerato attualmente come una barriera potrebbe potenzialmente diventare un'opportunità nel mondo digitale. Questo aspetto potrebbe fornire spunti su possibili casi d'uso che potranno fornire agli utenti nuove esperienze prive delle limitazioni presenti nell'ambiente fisico.
- *Personalizzazione, dati, privacy e trasparenza*: un'esperienza così immersiva dovrà gestire e trattare i dati, soprattutto quelli tracciati per ottenere l'immersione, con ancora più cautela rispetto ai sistemi attuali e gli stessi dati dovranno essere mostrati in modi radicalmente diversi rispetto a quelli a cui siamo abituati. Subentrano quindi problematiche di trasparenza, e il conseguente bisogno di garantire all'utente finale il controllo e la personalizzazione delle politiche e dei comportamenti del sistema, anche attraverso opportune presentazioni dei dati e meccanismi di interazione a supporto del controllo dell'utente.
- *Sicurezza e benessere delle persone*: la commistione tra fisico e virtuale amplifica i rischi, che possono essere associati all'interazione con oggetti fisici del mondo reale, ma anche quelli che possono derivare dallo sforzo mentale e cognitivo che le

¹⁰ <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/guidelines-for-human-ai-interaction/>

nuove rappresentazioni degli oggetti virtuali e le nuove modalità di interazione comportano.

- *Comprendere e spiegare il metaverso*: infine, il metaverso, la sua definizione e le sue potenziali applicazioni devono ancora essere ben individuate, ma soprattutto dovranno essere spiegate ai futuri utenti. Sarà fondamentale creare azioni educative per far sì che gli utenti comprendano cos'è il metaverso e le sue potenzialità. L'enfasi dovrebbe poi essere posta sull'importanza di coinvolgere persone con *background* e idee diverse nel processo di progettazione, nello spirito della progettazione centrata sull'utente inclusiva.

Tecnologie abilitanti

Blockchain¹¹

Abbiamo visto come nel metaverso siano fondamentali tre aspetti trasversali: l'identità indipendente dai meta-mondi, la proprietà dei propri dati e l'interoperabilità tra i meta-mondi.

Tutto ciò che circola oggi nel Web è generalmente un contenuto digitale, utilizzabile dietro una licenza che ne definisce anche la proprietà intellettuale effettiva. Questi contenuti, se acquistati online, non possono essere realmente posseduti dagli utenti poiché tipicamente l'accesso è gestito da una piattaforma centralizzata. Se la piattaforma cessa la propria attività si perde immediatamente l'accesso a tutte le risorse digitali acquisite.

Allo stesso modo se l'identità di un utente è rilasciata da una piattaforma, questi non avrà mai il reale accesso indipendente ai suoi dati identificativi ma accederà sempre grazie all'intermediazione della piattaforma. Inoltre, non potrà utilizzare quella identità a proprio piacimento su altri sistemi e meta-mondi, al netto di specifici accordi ancora una volta decisi esclusivamente dalla piattaforma erogante.

Non è quindi garantito che l'esperienza finale dell'utente benefici dei principi propri di quel modello di interoperabilità tipico del metaverso, in cui gli utenti (inclusi i propri dati) e gli asset sono liberi e indipendenti dai meta-mondi e appartengono realmente solo ai legittimi proprietari. Se il metaverso ha l'ambizione di diventare il luogo principale in cui le persone si riuniscono e scambiano beni e servizi digitali, deve assicurare questo grado di interoperabilità.

¹¹ Sezione a cura di Glauco Ciprari

Oggi però, con l'avvento della blockchain e del paradigma Web3, di cui è tecnologia fondante, è diventato possibile possedere risorse digitali nello stesso modo in cui possediamo risorse fisiche e garantire proprio questa interoperabilità. Una rete blockchain consente di creare la propria identità secondo un protocollo standard senza necessità di una terza parte e di utilizzarla liberamente in tutti quei sistemi che implementano questo protocollo che è open e liberamente utilizzabile. Il registro decentralizzato della blockchain mantiene tutte le transazioni effettuate sulla rete tra gli utenti così identificati. Ciò significa che ogni volta che si acquista o trasferisce un asset digitale, la transazione viene registrata sulla blockchain affinché chiunque possa verificarla. La trasparenza è uno dei principali vantaggi di questa tecnologia nel metaverso, in quanto consente ai meta-mondi di interagire simultaneamente con lo stesso registro decentralizzato e condiviso come pari, senza che nessuno di essi ne sia effettivamente proprietario o gestore unico. Nessuno può rivendicare o inibire la proprietà di un asset digitale che è stato correttamente trasferito su blockchain tra due identità, anche attraverso meta-mondi diversi; inoltre, qualsiasi tentativo di riprodurre l'asset verrebbe immediatamente rilevato e invalidato dalla rete decentralizzata.

In sostanza nel metaverso il proprio avatar potrà acquistare e possedere realmente non solo contenuti ma anche risorse digitali esclusive identificate e garantite da un NFT su rete blockchain: abiti, scarpe, borse o altri accessori da indossare; automobili, aerei, barche o altri mezzi di trasporto su cui viaggiare; ma anche case, fabbriche, fattorie o appezzamenti di terreno in cui vivere o lavorare.

Infine, è importante ricordare che grazie a strumenti quali gli *smart contract*, la blockchain consente anche di modellare diritti e interazioni tra gli utenti secondo regole condivise e automaticamente applicate in modo trasparente e sicuro. Questo è un aspetto fondamentale non solo per garantire il modello di interoperabilità precedentemente descritto, ma per rendere l'intero metaverso sicuro e trasparente e poterlo connettere alla regolamentazione che in certi casi deve essere assicurata nel mondo reale. Questo universo esteso nel digitale, oltre alle infinite opportunità, porta con sé la necessità di mantenere alti gli standard di sicurezza, di tutela degli utenti, di *privacy* e più in generale di rispetto delle norme dei vari settori in cui si va a inserire.

IoT e Sensoristica¹²

Il metaverso rappresenta una nuova frontiera nell'ambito dell'interazione uomo-computer, in cui gli utenti possono interagire con un ambiente virtuale condiviso in tempo reale. L'Internet delle cose (IoT), la sensoristica e i *digital twin* sono tecnologie chiave per la

¹² Sezione a cura di Alessandro Perrino

creazione di un'esperienza immersiva all'interno del metaverso. In questa sezione, ci concentreremo su come queste tecnologie possono essere utilizzate per creare un'esperienza immersiva e interattiva all'interno del metaverso.

Lo sviluppo del metaverso avviene nel mondo digitale, la sua materia infatti è composta da dati e informazioni che sono in stretta correlazione con l'universo dell'oggettivo. Così come l'universo fisico anche la struttura del metaverso è spazio-temporale ed è composta da: lunghezza, larghezza, profondità e tempo. In sintesi, il cyberspazio è sostanzialmente un universo creato e alimentato dalle reti globali di comunicazione e dalle infrastrutture tecnologiche, tra cui l'IoT e la sensoristica.

1. IoT e Sensoristica applicati al metaverso

Il concetto di Internet delle cose (IoT) è stato introdotto per la prima volta nel 1999 ed è stato definito come la capacità di collegare dispositivi e oggetti del mondo fisico a Internet tramite sensori, attuatori o dispositivi di controllo. Ciò consente a questi dispositivi di trasmettere e ricevere automaticamente dati e di essere individuati tramite un identificatore univoco.

All'interno del metaverso, l'IoT può essere utilizzato per raccogliere e fornire dati provenienti dal mondo reale al fine di aumentare l'accuratezza delle rappresentazioni digitali. Ad esempio, i *feed* dei dati IoT possono essere utilizzati per modificare il comportamento di determinati oggetti presenti all'interno del metaverso in base alle condizioni ambientali o al tempo corrente.

Inoltre, l'IoT consente di interconnettere un gran numero di dispositivi presenti nel mondo reale e nell'ambiente virtuale 3D, creando simulazioni in tempo reale all'interno del metaverso. L'IoT può essere utilizzato per ottimizzare l'ambiente del metaverso mediante tecnologie come l'intelligenza artificiale (AI) e l'apprendimento automatico (*Machine Learning*), utili per la gestione dei dati raccolti.

La combinazione di IoT e sensoristica consente di creare un ambiente immersivo e interattivo all'interno del metaverso. Ad esempio, i sensori possono essere utilizzati per raccogliere dati sull'ambiente circostante, come la temperatura, l'umidità e la pressione atmosferica, che possono essere utilizzati per creare un ambiente virtuale realistico. Questi dispositivi inoltre possono essere utilizzati per rilevare i movimenti del corpo degli utenti e tradurli in azioni all'interno del metaverso, consentendo un'esperienza di interazione naturale.

L'IoT può anche essere utilizzato per creare un sistema di realtà aumentata all'interno del metaverso. Ad esempio, i sensori possono essere utilizzati per raccogliere informazioni sull'ambiente reale e sovrapporle al mondo virtuale, consentendo agli utenti di vedere il mondo reale attraverso un dispositivo connesso a Internet e di interagire con esso.

La tecnologia IoT può essere utilizzata per creare un sistema di localizzazione all'interno del metaverso. I sensori, infatti, possono essere utilizzati per rilevare la posizione degli utenti all'interno dell'ambiente virtuale.

2. *Use case* interessanti

Il metaverso è stato presentato come un ambiente virtuale dove gli utenti possono interagire con oggetti e persone in modo simile al mondo reale. Uno dei modi in cui il metaverso può avere un impatto significativo sull'Internet delle cose (IoT) è attraverso l'utilizzo di *software* chiamati *digital twin*, che consentono la riproduzione di un bene fisico o di un sistema in forma digitale.

Il primo modo in cui il metaverso può influire sull'IoT è attraverso il miglioramento del *training* e della formazione dei dipendenti. Utilizzando i *digital twin* nel metaverso, è possibile simulare situazioni estreme del mondo reale, rendendo la formazione più sicura ed efficiente. Attualmente la sensoristica IoT è già utilizzata negli ambienti virtuali per il *training* di tipo militare o nei corsi per i piloti di volo.

Il secondo aspetto interessante da analizzare è quello relativo alla pianificazione aziendale. Il metaverso, infatti, può contribuire a una migliore e più intelligente pianificazione a lungo termine e risposta a breve termine. Man mano che il metaverso sarà popolato da un numero crescente di *digital twin* di oggetti del mondo reale, il sistema sarà in grado di riflettere sempre più fedelmente il mondo reale e quindi ottimizzare i sistemi energetici, di trasporto e sanitari nella pianificazione di lungo periodo.

Il metaverso può anche fungere da interfaccia 3D per l'IoT, rendendo indistinguibili il fisico e il digitale e quindi aumentando la capacità umana di prendere decisioni informate. L'acquisizione di dati dall'ambiente circostante, inclusa l'ingestione di massa di dati dall'IoT, può essere un utilizzo importante per il metaverso.

In conclusione, il metaverso può avere un impatto significativo sull'IoT attraverso l'utilizzo di *digital twin* per migliorare la formazione e la pianificazione, nonché fungere da interfaccia 3D per l'IoT e acquisire dati dall'ambiente circostante. È importante continuare a indagare su questi possibili impatti e sviluppare metodi per integrare efficacemente il metaverso e l'IoT.

Geospatial¹³

Le tecnologie digitali dedicate alla raccolta, memorizzazione e organizzazione di informazioni geografiche sono denominate unitariamente con il termine *geospatial*.

Il complesso di tali tecnologie riguarda quattro “macro” ambiti, come illustrato nella figura seguente.

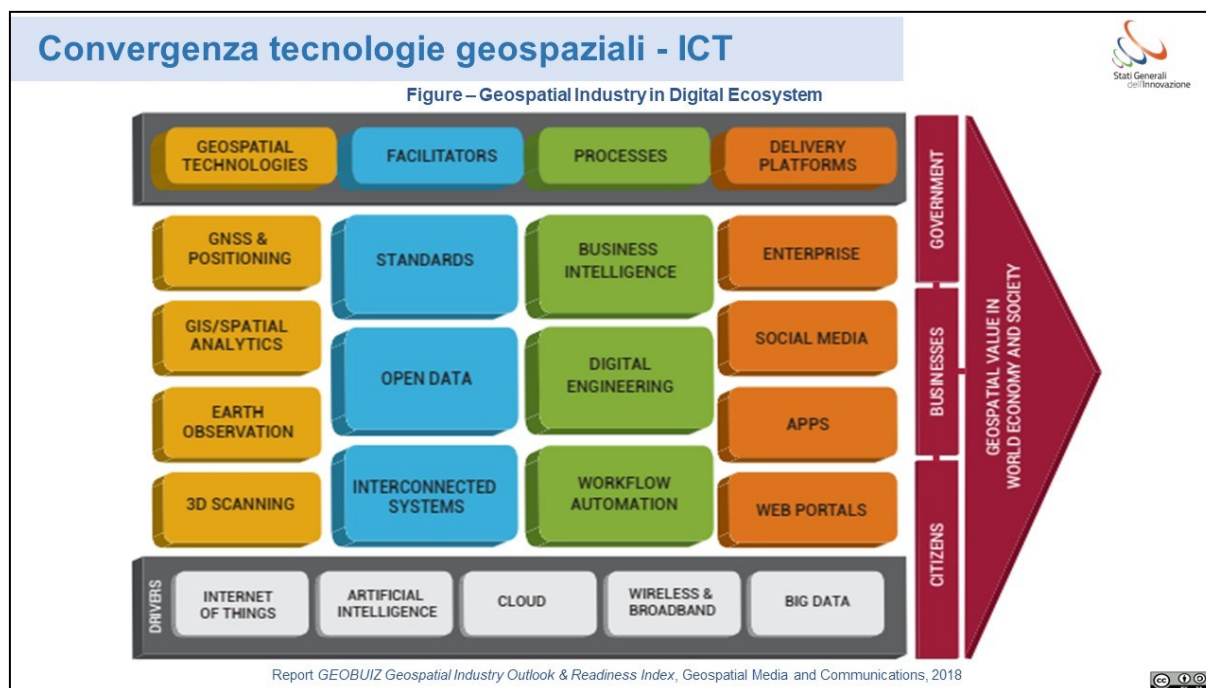


Tutte queste tecnologie concorrono alla Quarta Rivoluzione Industriale (4IR), anche in combinazione con quelle richiamate nei paragrafi precedenti.

Nel corso dello scorso decennio, infatti, il settore delle tecnologie *geospatial* da ambito specialistico dedito principalmente alla rilevazione e rappresentazione spaziale dei fenomeni naturali e antropici, è stato sempre più identificato come componente sostanziale del settore ICT e coprotagonista della trasformazione digitale (v. figura successiva).

Tali tecnologie contribuiscono a rafforzare e qualificare lo sviluppo della società informazionale, in virtù di nuovi valori acquisiti dai dati *geospatial*, tra cui quello derivato dal ruolo assunto dai dati di georeferenziazione quale connessione unificante tra oggetti, sistemi e dispositivi digitali, persone e ambiente. L’abbinamento della posizione geografica a innumerevoli tipologie di dati ne accresce le potenzialità in termini di loro elaborazione per generare conoscenze, fornendo significativi apporti per il miglioramento del benessere sociale, in campo economico e nella salvaguardia dell’ambiente.

¹³ Sezione a cura di Sergio Farruggia



La compartecipazione al processo di convergenza tecnologica all’origine del concetto di metaverso, descritto nel paragrafo 1.1, si manifesta nell’espansione di riproduzioni del mondo fisico anche oltre l’esistente e la creazione di modellizzazioni sempre più complesse, fino a comprendere la comparsa di nuovi mondi virtuali e geografie inedite, popolati da – ancora poco conosciute – comunità del cibernazione.

Nota. Sebbene il *focus* di questo contributo verta sulle tecnologie, occorre evidenziare che tra le altre abilitanti il metaverso, quelle *geospatial* evidenziano la necessità del contributo delle scienze umanistiche per indagare la (futura) comprensione della nostra vita tra mondo fisico e cyberspazio, soprattutto allorquando “la computazione è [...] e si fa mondo”¹⁴. Ciò che attiene alla spazialità va considerato congiuntamente a ciò che riguarda la digitalità.



¹⁴ Cosimo Accoto. Il mondo in sintesi (EGEA, 2022), pag.119.

Il nuovo posizionamento del settore sollecita la corrispondente comunità nell'individuazione di soluzioni informatiche adeguate a rispondere alle sempre maggiori richieste di dati *geospatial* e di relativi servizi. L'indagine ha preso avvio dal riesame della soluzione formulata e sviluppata a partire dalla fine degli anni '90, la cosiddetta *Spatial Data Infrastructure* (SDI). Il termine indica la soluzione tecnico-organizzativa deputata a collezionare dati prodotti dai suoi aderenti e garantire primariamente le funzionalità fondamentali di ricerca (in Rete), visualizzazione, acquisizione e condivisione dei dati. La SDI non produce dati: essa comprende le tecnologie, i metodi, i dati e i metadati, le politiche e gli accordi tesi a soddisfare la disponibilità, l'omogeneità e l'accesso a dati *geospatial*.

In Europa, lo sviluppo delle SDI ha ricevuto un fondamentale impulso con l'entrata in vigore della direttiva INSPIRE (2007) per la creazione della SDI europea. Tale infrastruttura si basa sull'apporto di analoghe infrastrutture nazionali, cui gli Stati membri concorrono nell'ambito del processo di recepimento della direttiva stessa. All'interno di ogni Paese membro, operano SDI sub-nazionali e SDI tematiche, la cui struttura tecnico-organizzativa è conforme allo standard INSPIRE.

In ambito internazionale, il concetto della *Spatial Data Infrastructure* è stato promosso e sostenuto dalla *Global SDI Association* (GSDI). Tale rete internazionale di esperti del settore *geospatial* ha operato fino al 2018 quando, constatato il crescente impegno delle Nazioni Unite sul tema, GSDI si è sciolta e ha stabilito il trasferimento dei suoi fondi residui a tale importante organismo.

Infatti, la sottoscrizione nel 2015 dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile da parte dei governi dei Paesi membri delle Nazioni Unite, e la sua successiva approvazione dall'Assemblea Generale dell'ONU, ha innalzato l'attenzione sul valore dei dati e delle informazioni *geospatial* e delle tecnologie relative, non solo per il monitoraggio dei 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs) e *target* connessi, ma anche per il ruolo che -dati, informazioni e tecnologie *geospatial*-hanno assunto nella individuazione di azioni per accelerare l'applicazione dell'Agenda stessa, nonché nella finalizzazione di una digitalizzazione sostenibile, nel quadro di una visione "pianeta-centrica".

In tale contesto, il ruolo di riferimento internazionale per il settore *Geospatial* è svolto dalla Divisione Statistica delle Nazioni Unite (UNSD), attraverso le attività dell'autorevole UN-GGIM¹⁵ – *United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management* – nonché grazie all'organizzazione di specifiche iniziative.

¹⁵ <https://ggim.un.org/>

La rete collaborativa internazionale di attori del settore *geospatial* – istituzionali, dell'industria, della ricerca e del terzo settore – aggregatasi a tale quadro organizzativo e spronata dalle esigenze derivate dalle crisi planetarie non più eludibili, opera a favore di tutte le nazioni per “lo sviluppo, l'integrazione, il rafforzamento e la massimizzazione della gestione della *Geospatial Information*”.

La documentazione in materia recentemente prodotta e rilasciata da UN-GGIM¹⁶ consente di conoscere le trasformazioni evolutive cui sarà soggetta l'infrastruttura *geospatial* nel prossimo futuro.

Nell'ambito di tale percorso il concetto della SDI è considerato tuttora valido, non solo come strumento per la fruibilità dei dati *geospatial*, ma soprattutto in ragione dei *framework* adottati per la *governance* dei dati, le *policy* e le norme in materia emanate, le tecnologie e gli standard implementati. Tuttavia, la SDI risente dell'impostazione riferita al paradigma Web 2.0. È un ambiente rivolto a utenti esperti, le librerie di dati progettate non sono “machine friendly”, non consente di sfruttare appieno le potenzialità delle nuove tecnologie della 4IR, quali l'Intelligenza Artificiale, i *Big Data geo-analytics*, le interfacce di comunicazione dell'IoT: tecnologie che consentono nuovi modi di raccolta, elaborazione dei dati e generazione di informazioni, grazie alle quali creare e condividere nuove conoscenze e permettere ulteriori approfondimenti.

Il percorso delineato non prende in considerazione soltanto gli aspetti tecnologici. Si prospetta un cambiamento di paradigma, spostando il *focus* dell'infrastruttura dai dati alla conoscenza, specificatamente sulla sua diffusione per consentire di acquisire saggezza cioè conoscenza distillata dall'utilizzatore attingendo all'intuizione e ricorrendo all'esperienza.

Esso presuppone cambiamenti culturali per adeguare la *governance* dell'infrastruttura, comprendere le nuove competenze e gli *skill* necessari, nonché prevedere i conseguenti bisogni formativi da colmare e, non ultimo per importanza, considerare modi per affrontare i problemi riguardanti la *privacy*, la proprietà e l'interoperabilità che si presenteranno nel corso dello sviluppo dell'ecosistema.

La seguente figura riporta le definizioni delle tre componenti che compongono l'ecosistema *geospatial* in divenire, nonché la schematizzazione dei rispettivi rapporti, all'interno di un ecosistema digitale complessivo.

¹⁶ Ad esempio: The Future Geospatial Information Ecosystem: From SDI to SoS and on to the Geoverse | Discussion Paper. Luglio 2022. https://ggim.un.org/meetings/GGIM-committee/12th-Session/documents/Future_Geospatial_Information_Ecosystem_Discussion_Paper_July2022.pdf

Dagli *Urban/Land Digital Twin* al metaverso della città/territorio

Digital twins are simply building blocks of the metaverse
(Fonte: FORBES, giugno 2022)

Def. di riferimento qui: «si riferisce a mondi 3D virtuali integrati (OGC, 2022; Merriam Webster, 2021) dove le persone possono socializzare, collaborare, imparare e giocare (Torres, 2022)»

La nuova infrastruttura geospatial evolverà verso il concetto di ecosistema geospatial (EG) costituito dalle tre componenti:

- **SDI**, confermata come una fonte di dati per il Geoverso, il SoS e il metaverso
- **Sistema di Sistemi (SoS)**, l'insieme dei sistemi che consumano dati geospaziali SDI o da altre fonti web (es. *smart city*, sistemi di trasporto intelligenti, sistemi *driverless*, *dashboard*)
- **Geoverso**, concepito come un super-insieme del Metaverso che estende la nozione di una società virtuale 3D per includere visualizzazioni 4D, analisi predittiva e conoscenza in tempo reale in tutte le sue forme, nonché un'ampia gamma di dati integrati e interoperabili provenienti da vari settori e discipline



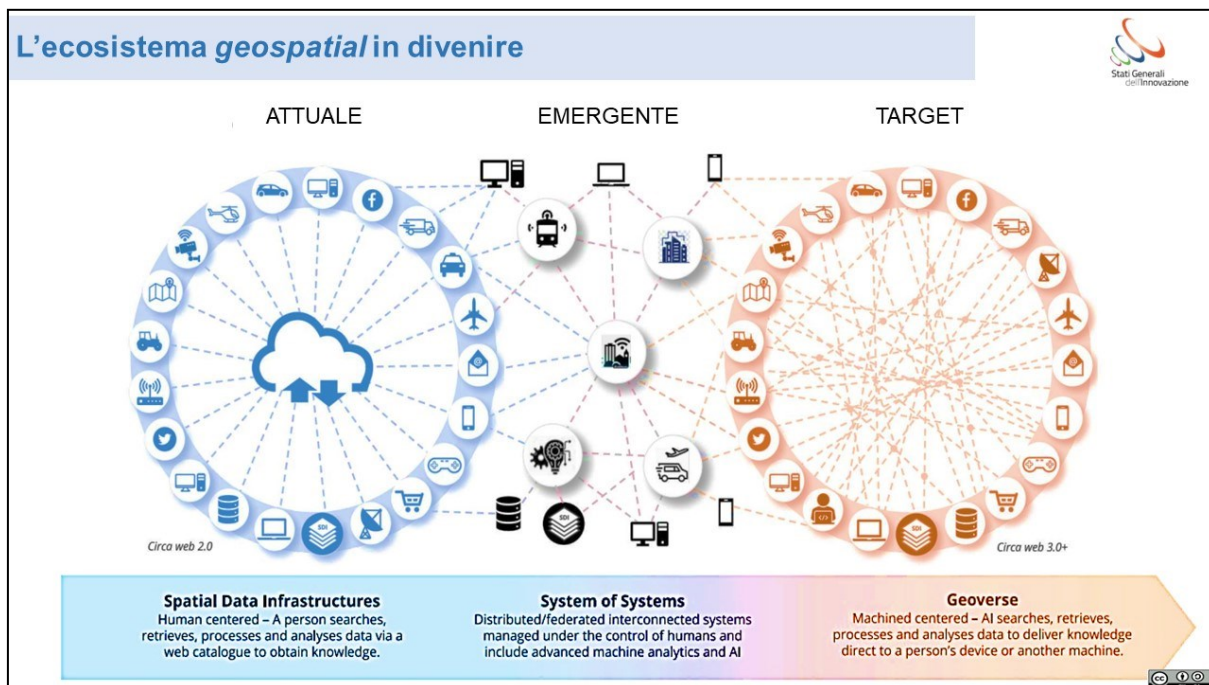
Rappresentazione schematica dell'ecosistema geospatial nelle sue tre componenti, inserito in un ecosistema digitale complessivo

7

Integrare e comprendere meglio le complesse relazioni tra persone, luogo e pianeta

UN-GGIM
Global Geospatial Information
Quality Standard
Discussion Paper
Future Geospatial Information Ecosystem:
From SDI to SoS
and on to the Geaverse
Making the Step Change Using the
Integrated Geospatial Information Framework
July 2022

La figura successiva rende ragione della transizione dal concetto di SDI a quello di Geoverso, dal punto di vista dell'interazione digitale. Come già ricordato, nell'ambito di tale processo evolutivo è previsto che le SDI (evidenziate in campo scuro) permangano come una componente tanto del SoS quanto del Geoverso, come fonte persistente di dati a supporto di nuove capacità, inclusi nuovi modi per creare e fornire conoscenza.



Il disegno strategico illustrato è proposto come percorso a livello globale e indirizzato ai livelli regionali e ad ogni singola nazione della comunità internazionale. A questo riguardo, il rafforzamento della gestione integrata delle informazioni *geospatial* in ambito nazionale è ritenuto un prerequisito essenziale per consentire la transizione al futuro

ecosistema delle informazioni *geospatial*. Grazie alla recente pubblicazione¹⁷ degli esiti di un'analisi comparativa tra 50 nazioni, rispetto al loro grado di maturità e propensione allo sviluppo evolutivo dell'ecosistema *geospatial* nazionale, è possibile conoscere quali misure stanno adottando i paesi *leader* del settore *geospatial*.

Le tecnologie *geospatial*, la Trasformazione Digitale e il Metaverso

L'impiego delle tecnologie *geospatial* nell'ambito dello sviluppo del metaverso può essere inquadrato con riferimento al concetto di *Digital Twin*¹⁸, specificatamente rispetto all'applicazione di tale paradigma ad un territorio (*Urban / Land Digital Twin*), a diverse scale anche regioni, nazioni fino all'intero Pianeta (si veda l'iniziativa europea Destination Earth¹⁹, ma anche il progetto di NVIDIA "Earth-2"²⁰).

Tale nuovo paradigma, originariamente coniato nell'ambito dell'approccio sistemico "Industria 4.0", è stato adottato all'interno del settore *geospatial*, inizialmente come effetto dei progressi ottenuti nel campo della modellazione digitale tridimensionale (3D) degli ambienti urbani.

Nel contesto delle *smart city*, ad esempio, si fa riferimento al *City Model*, inteso come "il set di dati che modella quegli aspetti fisici e sociali della *Smart City* che sono rilevanti per i suoi obiettivi": come sinonimo di *city model*, alcuni progetti hanno utilizzato il termine *Virtual City*²¹ e, più recentemente, *City (Urban) Digital Twin*. Riprendendo il concetto di SDI, il *City Model* altro non è che la componente dati – il catalogo dei dati – della SDI della città (*Local SDI*).

Restando in tema di *smart city*, realizzato il *Digital Twin* della città (*city model*), ad esso sono aggregati i gemelli digitali dei sistemi destinati alla gestione della città: i) edifici intelligenti; ii) infrastrutture dedicate alla mobilità di persone e beni; iii) reti energetiche, di TLC e di distribuzione delle risorse idriche; cui si aggiungono *digital twin* dei soggetti della città/territorio – sia comunità o gruppi, sia singoli individui.

Si configura quindi l'evoluzione del significato di *Urban / Land Digital Twin* che, applicato a sistemi e processi sempre più complessi, assume quello di "nidi" di *digital twin*, sia di oggetti del territorio, sia dei soggetti (le persone) che vi gravitano.

¹⁷ UNSD, Geospatial World. GEOSPATIAL KNOWLEDGE INFRASTRUCTURE - Readiness Index and Value Proposition in World Economy, Society, and Environment. Ottobre 2022.

¹⁸ Copia virtuale di un prodotto/processo fisico, integrata nel sistema di gestione del ciclo di vita del prodotto stesso.

¹⁹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth>

²⁰ <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/11/12/earth-2-supercomputer/>

²¹ Standard ISO/IEC 30146:2019 "Smart city ICT indicators"

In questa prospettiva, con riferimento al metaverso può risultare appropriata la seguente definizione di gemello digitale: *Digital twins are simply building blocks of the metaverse*²²: nel caso specifico, il metaverso della città / territorio.

Cross Reality²³

Il metaverso rappresenta una nuova frontiera nell'ambito dell'interazione uomo-computer, in cui gli utenti possono interagire con un ambiente virtuale condiviso in tempo reale.

Lo sviluppo del metaverso avviene nel mondo digitale, la sua materia infatti è composta da dati e informazioni che sono in stretta correlazione con l'universo dell'oggettivo. Così come l'universo fisico anche la struttura del metaverso è spazio-temporale ed è composta da: lunghezza, larghezza, profondità e tempo. In sintesi, il cyberspazio è sostanzialmente un universo creato e alimentato dalle tecnologie di realtà aumentata e virtuale, tra cui l'XR.

L'XR (Realtà Aumentata, Realtà Virtuale e Realtà Mista) è una tecnologia chiave per la creazione di un'esperienza immersiva all'interno del metaverso. In questa sezione, ci concentreremo su come l'XR può essere utilizzato per creare un'esperienza immersiva e interattiva all'interno del metaverso.

1. XR: Che cos'è e da cosa è composta?

L'XR, o Realtà Estesa, è una tecnologia emergente che si basa sull'integrazione di elementi virtuali e reali in un'unica esperienza immersiva

La Realtà Estesa è una categoria di tecnologie immersive che comprende: la Realtà Aumentata (AR), la Realtà Virtuale (VR) e la Realtà Mista (MR). Queste tecnologie permettono l'integrazione tra il mondo fisico e quello virtuale, creando nuovi modelli di interazione e nuove opportunità per la creazione di valore in diversi settori e ambiti, come il *gaming*, il *training*, la medicina e la manifattura.

Per comprendere meglio la Realtà Estesa, è necessario analizzare le tecnologie che la rendono possibile.

La Realtà Virtuale (VR), ad esempio, consente agli utenti di essere completamente immersi in un ambiente digitale simulato attraverso l'utilizzo di dispositivi come visori VR, cuffie e guanti aptici. Ciò permette agli utenti di interagire con una realtà

²² <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2022/06/01/what-digital-twins-and-the-metaverse-mean-for-our-infrastructure/>

²³ Sezione a cura di Nicola Oretti

completamente diversa e virtuale, ma al tempo stesso di essere completamente isolati dal contesto fisico in cui si trovano.

La Realtà Aumentata, invece, consente di sovrapporre informazioni e oggetti virtuali al mondo reale, permettendo agli utenti di interagire con un overlay 3D sulla realtà esterna in tempo reale attraverso occhiali AR, schermi, *tablet* e *smartphone*.

La MR, infine, consente agli oggetti digitali e quelli del mondo reale di coesistere e interagire tra loro in tempo reale, creando una tecnologia immersiva ibrida che richiede una cuffia MR e una maggiore potenza di elaborazione rispetto alla VR o alla AR.

2. Metaverso: un'esperienza immersiva che passa attraverso lo sviluppo dell'XR

Il termine realtà estesa è sempre più utilizzato anche grazie agli sviluppi del metaverso, che ha dato a queste tecnologie un nuovo significato e scopo.

Se è vero che per accedere al metaverso non è necessario utilizzare i dispositivi XR, lo si può fare ad esempio attraverso un avatar virtuale, per le aziende il suo valore si concretizza nella possibilità di offrire ai clienti un'esperienza immersiva che permette di interagire con l'ambiente virtuale circostante e con altri utenti.

Per rendere questa interazione veramente immersiva, l'utilizzo dei dispositivi della realtà estesa è quindi imprescindibile, in quanto un semplice avatar non permette un livello di esperienza così avvolgente.

La tecnologia XR rappresenta un abilitatore fondamentale per la creazione di un metaverso, poiché consente di creare un'esperienza immersiva e interattiva per gli utenti in un ambiente virtuale realistico e di alta qualità, in grado di simulare il mondo reale in modo preciso. L'interazione con il metaverso è resa infatti molto naturale dall'utilizzo della Realtà Estesa, che permette agli utenti di utilizzare i movimenti del corpo per interfacciarsi con l'ambiente virtuale.

L'XR può anche essere utilizzato per creare un sistema di realtà aumentata all'interno del metaverso, consentendo agli utenti di vedere il mondo reale attraverso un dispositivo connesso a Internet e di interagire con esso.

In sintesi, l'XR rappresenta una tecnologia chiave per la creazione di un metaverso, poiché consente di creare un'esperienza immersiva e interattiva per gli utenti, di simulare il mondo reale in modo preciso, di creare un sistema di interazione naturale e di utilizzare la realtà aumentata all'interno del metaverso.

3. *Extended Reality*: applicazioni e vantaggi per le aziende

Il rapporto di McKinsey sulle tecnologie immersive evidenzia che l'applicazione delle stesse avviene principalmente in quattro aree: apprendimento e valutazione, progettazione e sviluppo di prodotto, visibilità nei processi e casi d'uso B2C.

Nell'ambito dell'apprendimento, le tecnologie immersive della realtà estesa vengono utilizzate per la formazione pratica su competenze e procedure, con particolare riferimento alla simulazione di situazioni insolite o pericolose che sarebbero difficili da replicare in modo sicuro nella vita reale, creando così una memoria muscolare.

Per quanto riguarda le attività di valutazione, le tecnologie immersive consentono di testare le conoscenze, le abilità e le capacità della forza lavoro in materia di sicurezza ed efficienza, utilizzando la stessa infrastruttura (ad esempio, modelli 3D, regole di procedura), individuando così le esigenze di ulteriore formazione. Le aziende già si stanno muovendo in questo campo: circa il 63% di quelle stanno utilizzando il metaverso attivamente lo impiega per la formazione del personale.

La realtà estesa trova già ampio impiego nelle fasi di progettazione e sviluppo di prodotti, come ad esempio l'utilizzo di gemelli digitali che consentono l'esplorazione virtuale di un ambiente fisico (ad esempio, un cantiere) o di un prodotto fisico (ad esempio, un nuovo satellite spaziale), offrendo vantaggi alle aziende quali una prototipazione e simulazione più efficiente, una gestione del prodotto più efficiente lungo tutto il suo ciclo di vita e una maggiore efficienza nei processi produttivi.

Il campo delle applicazioni B2C (*Business-to-Consumer*) sta attualmente vedendo una crescita significativa nell'utilizzo di eventi dal vivo virtuali. Tali eventi, che includono giochi, allenamenti virtuali e altre esperienze che imitano quelle reali come concerti, conferenze, eventi sportivi e sfilate di moda, permettono agli utenti di partecipare a queste attività da qualsiasi luogo e in qualsiasi momento.

Inoltre, un'altra area in cui si sta registrando un forte aumento è quella degli *showroom* virtuali. Questi ambienti virtuali permettono ai consumatori di fare *shopping* in modo interattivo, muovendosi all'interno del negozio virtuale, provando i capi nei camerini virtuali e utilizzando altre funzionalità simili a quelle presenti in un negozio fisico.

Attualmente, si stima che circa il 33% dei consumatori che hanno visitato un negozio nel metaverso abbiano effettuato acquisti di beni fisici attraverso lo *store* virtuale. Questo dato evidenzia la crescente importanza delle applicazioni B2C nel metaverso, che stanno diventando sempre più una componente fondamentale del commercio elettronico.

In conclusione, l'utilizzo di eventi dal vivo virtuali e *showroom* virtuali rappresenta una tendenza in crescita nel campo delle applicazioni B2C, che offrono un'esperienza

d'acquisto sempre più immersiva e interattiva agli utenti. In futuro, si prevede che queste applicazioni diventeranno sempre più diffuse e rivestiranno un ruolo sempre più importante nel commercio elettronico.

4. Costo dell'*hardware* e *data governance*: i nodi ancora da sciogliere

Per sfruttare il pieno potenziale della realtà estesa, sono necessari ulteriori sviluppi in alcune aree chiave.

In primo luogo, è necessario migliorare l'*hardware* utilizzato per l'esperienza utente, in particolare per quanto riguarda l'ingombro e il peso dei dispositivi, la precisione dei sensori e la riduzione degli effetti negativi sulla salute fisica di chi li utilizza (ad esempio affaticamento degli occhi e nausea). L'adozione della realtà estesa è inoltre attualmente ostacolata dai costi elevati dei dispositivi. Per diffondere l'utilizzo della Realtà Estesa, sarà necessario sviluppare soluzioni più economiche e accessibili.

Un'altra sfida riguarda la gestione dei dati degli utenti che utilizzano queste tecnologie. Le applicazioni di Realtà Estesa richiedono l'accesso a molte tecnologie e, in alcuni casi, l'utilizzo di *account* di *social media* e applicazioni esterne. È pertanto necessario stabilire regole chiare per la raccolta, la condivisione e l'utilizzo di questi dati, al fine di garantire la sicurezza degli utenti durante l'interazione con la realtà estesa

5. Conclusioni

In conclusione, l'XR (realtà estesa) rappresenta una tecnologia chiave per lo sviluppo del metaverso e per la creazione di un ambiente virtuale sempre più realistico e interattivo.

La combinazione di dispositivi come visori e cuffie AR/VR con la tecnologia 5G, che garantisce un aggiornamento quasi istantaneo dell'ambiente virtuale, offre un'esperienza immersiva e interattiva per gli utenti del metaverso.

In futuro, è probabile che l'XR continui a evolversi e a interagire con altre tecnologie come l'IoT e la sensoristica, creando nuove opportunità per lo sviluppo e l'utilizzo del metaverso in ambiti come il *gaming*, la formazione, la progettazione, la simulazione e molto altro ancora.

Intelligenza artificiale e Metaverso^{24 25}

1. Definizioni

Sono state date nel tempo varie definizioni di Intelligenza Artificiale (IA o AI). Il prof. Nils J. Nilsson, autore di una serie di testi di riferimento nel settore, la definisce «*quell'attività dedicata a rendere intelligenti le macchine, e l'intelligenza è quella qualità che consente a un'entità di funzionare in modo appropriato e con lungimiranza nel suo ambiente*». Secondo l'OCSE (OECD AI Principles Overview) «*un sistema di IA è un sistema basato su macchine che, sulla base di obiettivi espliciti o impliciti, deduce dagli input ricevuti come generare output (previsioni, contenuti, raccomandazioni o decisioni) che possono influenzare ambienti fisici o virtuali. I diversi sistemi di IA variano nei loro livelli di autonomia e adattabilità una volta implementati*». Qualunque definizione si voglia considerare, l'AI rappresenta un cambio di paradigma rispetto alla programmazione tradizionale, nella quale il computer eseguiva sostanzialmente una sequenza di righe di comando, utilizzando i dati di input e una serie logica di regole impostate manualmente dal programmatore per generare un output attraverso un programma (*hard code*). Al contrario, con l'AI vengono fornite ai computer grandi quantità di dati e la capacità di ricercare (anche micro-) correlazioni tra essi e modelli interpretativi, sviluppando conoscenza e fornendo in uscita dati predittivi sul fenomeno osservato. In tal modo, le piattaforme *AI-powered* hanno la capacità non solo di fornire **supporto alle decisioni umane** (*decision support systems, DSS*), ma anche (ove desiderato) di prendere decisioni ed **attivare azioni autonomamente** senza intervento umano.

Dopo un primo modello di calcolatore di Alain Turing (1936), che nel 1950 affrontò il tema dell'intelligenza di una 'macchina' ("Computing Machinery and Intelligence") attraverso il noto test basato sul colloquio telex tra una persona e un calcolatore che si "comporta in maniera umana", Warren McCulloch e Walter Pitt progettaron la prima una rete neurale (1943), ancorché il termine "Artificial Intelligence" sia stato coniato solo nel 1956 da John McCarthy come possibilità di costruire una 'macchina' in grado di operare come il cervello umano.

²⁴ Sezione a cura di Fulvio Ananasso

²⁵ Riferimenti utilizzati: <https://www.intel.com/content/www/us/en/artificialintelligence/post/le-sfide-e-opportunità-delle-spiegazioni-ai.html>
<https://www.kaspersky.com/blog/machine-learning-ninechallenges/23553/>
<https://www.digitalmosaik.com/blog/le-tecnologie-alla-base-del-metaverso>
<https://academy.binance.com/it/articles/top-7-technologies-that-power-the-metaverse>
<https://www.key4biz.it/il-metaverso-puo-sembrare-lontano-ma-gli-standard-lo-avvicinano/430165/>
<https://www.ictbusiness.it/cont/news/il-chatbot-che-parla-la-lingua-dei-segni-e-un-primato-italiano/47352/1.html#.Y8jSj0GZM2w>

2. Apprendimento automatico

L'apprendimento automatico o *machine learning* è uno (al momento il più utilizzato) degli approcci per generare Intelligenza Artificiale, basato su due attori principali: i dati e il modello (matematico). Si tratta di un «*campo di studio che dà ai computer la possibilità / capacità di apprendere senza essere esplicitamente programmati*» (prof. Arthur Samuel, 1959). La sfida del processo di apprendimento è identificare i parametri del modello matematico in modo che possa rappresentare le relazioni tra i dati di ingresso, estraendone la conoscenza dai dati di addestramento (storici) utilizzati nel processo di *training* del modello e applicare questa conoscenza estratta ai nuovi dati in arrivo.

Potremmo avere diversi tipi di modelli - reti neurali, macchine a vettori di supporto (SVM) - e, di conseguenza, diversi algoritmi per l'apprendimento del modello. La complessità del modello matematico determina il tempo necessario per addestrarlo, e la quantità di dati necessari per l'implementazione del processo di apprendimento. Un modello troppo semplice non sarebbe in grado di rilevare relazioni molto deboli tra i dati, mentre uno troppo complesso richiederebbe eccessive risorse temporali e computazionali. La qualità e quantità dei dati utilizzati in fase di apprendimento (che deve essere statisticamente significativa per fornire le caratteristiche rilevanti del fenomeno in esame) sono fattori cruciali per una *performance* di successo.

Il *machine learning* può essere declinato in apprendimento **(i)** supervisionato, **(ii)** non supervisionato e **(iii)** rinforzato (o comportamentale).

- (i) L'apprendimento supervisionato** (“supervised learning”), o anche apprendimento orientato al compito (“task-oriented learning”), è al momento l'approccio più comune dell'apprendimento automatico – ad es. nella classificazione delle immagini, che può essere eseguita a vari livelli (*pixel*, *patch*, oggetto). Esso riguarda una forma di apprendimento in cui, per un dato input, è disponibile un risultato noto “vero” da dati storici – “etichettato” (*labeled*) dall'interpretazione di un “supervisore” umano -, e questa “verità” può essere insegnata al modello. In altre parole, per ogni input dato al modello in fase di addestramento sappiamo quale dovrebbe essere l'output del modello, e l'obiettivo è che il modello incorpori la regola generale. Il set di dati di *training* è un sottoinsieme (70-80%) del set più grande di dati storici a disposizione, e serve a dare all'algoritmo un'idea del problema, della relazione di causa ed effetto tra le variabili del set di dati e della soluzione (modello matematico). Questa viene quindi testata con il rimanente set dei dati a disposizione (*test data set*, 20-30% del set di dati storici), minimizzando, entro una soglia predefinita, la funzione di errore, cioè la distanza tra i valori di output “veri” (dai dati delle serie storiche) e quelli generati dal modello nella fase di addestramento. Tale fase di formazione può essere molto lunga, ma una volta

conclusa con l'addestramento del modello minimizzando la funzione di errore ('matrice di confusione'), l'algoritmo può sostanzialmente funzionare *free running* in tempo reale, per l'elaborazione dei nuovi dati reali in flusso continuo, e continua ad apprendere anche dopo il *deployment*.

- (ii) L'**apprendimento non supervisionato** ("unsupervised learning") mira a trovare schemi e correlazioni tra i dati (molto arduo da realizzare da un essere umano) in modo da raggrupparli in categorie simili. Nell'apprendimento non supervisionato non abbiamo bisogno di operazioni di etichettatura esterne o di un "supervisore" che fornisca valori *target*, ma solo di grandi volumi di dati grezzi. L'intero addestramento del modello matematico si basa solo sui dati originali esistenti; il processo è quindi caratterizzato da un livello di automazione più elevato rispetto all'apprendimento supervisionato. Al termine del *training*, il modello organizza una rappresentazione interna dei dati che li rende più comprensibili e facilmente interpretabili. Come per gli altri paradigmi di apprendimento, anche l'apprendimento non supervisionato può essere implementato mediante vari modelli matematici. E anche in questo caso bisogna considerare la complessità del modello, che dovrebbe riflettere quella della rappresentazione interna ricercata.
- (iii) A differenza degli altri due tipi di *machine learning*, apprendimento supervisionato e non supervisionato, l'**apprendimento rinforzato** (*reinforcement learning*) agisce per decisioni sequenziali, in cui l'azione da compiere dipende dallo stato attuale del sistema e ne determina quello futuro. Si tratta di una tecnica di apprendimento automatico "comportamentale" (*behavioral*) che si concentra sull'addestramento di un algoritmo ad imitazione dell'approccio per tentativi ed errori (*trial and error*) con cui gli esseri umani imparano dall'esperienza. L'algoritmo migliora sé stesso attraverso un processo iterativo, durante il quale esso valuta una situazione, intraprende un'azione e riceve un *feedback* dall'ambiente dopo ogni decisione. Sulla base del concetto psicologico di condizionamento, il *feedback* positivo è considerato favorevole e viene "rinforzato" come ricompensa per la scelta giusta, mentre il *feedback* negativo è considerato una punizione per un errore, la scelta sbagliata. Sostanzialmente, si simulano possibili scenari dai dati in arrivo, si identificano modelli di funzionamento, che vengono modificati / ottimizzati con nuove opzioni in base ai *feedback* ricevuti dall'ambiente operativo.

Intelligenza Artificiale e *machine learning* (supervisionato, non supervisionato o rinforzato) sono poi spesso associati al termine "**deep learning**". L'apprendimento profondo (*deep learning*) è un sottoinsieme del *machine learning* entrato nella sua maturità tecnologica nei primi anni 2000, in cui il termine "deep" si riferisce alla rappresentazione gerarchico-topologico dello scenario predittivo di interesse. Se ad

esempio siamo interessati al riconoscimento dell'oggetto “cane dalmata”, “deep” ha a che fare con le fasi “gerarchiche” del processo di riconoscimento dell'oggetto come animale, come cane, come cane dalmata. Queste fasi di rappresentazione trovano corrispondenza con i diversi strati del modello matematico da utilizzare per rappresentarlo – sostanzialmente uno strato del modello si concentra sull'animale, uno strato sul cane, uno strato sul tipo di cane. Questo è ciò che accade con le reti neurali profonde (con molti strati / livelli dell'architettura di elaborazione), i modelli più utilizzati per il *deep learning*, oltre alle reti neurali poco profonde, con un numero limitato di livelli. Ricordando quanto detto sulla complessità dei modelli, le architetture di *deep learning* sono indubbiamente molto complesse, il che si riflette sull'elevato onere computazionale richiesto e sulla disponibilità di enormi quantità di dati di apprendimento.

3. Intelligenza Artificiale Generativa

Dopo i tentativi del secolo scorso di *emulazione* del cervello umano con tecniche “comportamentistiche” (V. Turing) – c.d. AI “debole”, per la mancanza principalmente di tecnologie di supercalcolo e grandi quantità di dati da poter elaborare -, lo sviluppo negli anni 2000 di tecniche di *deep learning* su reti neurali profonde ha dato un grande impulso all'approccio “concessionistico” (*simulazione* del cervello umano) - AI “forte”, o AI Generale / Super (AGI / ASI).

Lo sviluppo nel 2017 da parte di ricercatori Google delle reti neurali “transformer” (che sostanzialmente apprendono il contesto, se non il significato, identificando relazioni in dati sequenziali come le parole di una frase) ha poi dato il via all' esplosione dei *Large Language Model* (LLM) come ChatGPT (*generative pretrained transformer*), *chatbot* di OpenAI per le conversazioni con gli utenti umani lanciato il 30 novembre 2022 - raggiungendo un milione di utenti in soli 5 giorni! Esso è basato sull'apprendimento automatico non supervisionato, ottimizzato con tecniche di apprendimento supervisionato e “di rinforzo”, con istruttori umani per migliorare le prestazioni del modello. Il 14 marzo 2023 è stato annunciato il GPT-4, modello multimodale su larga scala, con input immagini, video, audio e testo, che produce output testuali.

C'è da dire che, mentre gli sviluppatori di ChatGPT dicono di aver creato uno strumento sempre più intelligente, non si tratta di vera “intelligenza”, come sottolinea il prof. Luciano Floridi, Direttore del Digital Ethics Lab dell'Università di Yale e pioniere nella filosofia dell'Etica nelle nuove tecnologie. La storia umana ha in qualche modo identificato l'*intelligenza* con la *capacità di agire* -- occorre intelligenza per ottenere risultati. L'AI generativa, per la prima volta, *non ha bisogno di essere intelligente* per ottenere il suo obiettivo. Facendo riferimento alle quattro partizioni fondamentali della linguistica (fonetica, morfologia, sintassi e semantica), l'AI accumula *sintassi* (struttura delle frasi e loro associazioni, elementi costitutivi, ...) NON *semantica*, cioè assegnazione

di un significato / senso alla struttura sintattica corretta e, di conseguenza, all'espressione linguistica. La distinzione può sembrare cervelotica nella forma, ma non lo è nella sostanza. I LLM appaiono al momento approcci di "apprendimento" generativi a base sostanzialmente *documentale* (NON a base *dati*), in grado di ottenere un quadro probabilistico delle varie opzioni ma non di comprenderne cause e significati. Risulta pertanto fondamentale la modalità con la quale vengono effettuate le domande al modello ("prompt engineering"), che diventa una sorta di "programmazione" del modello stesso.

Google Bard (da "Bard of Avon", un soprannome di William Shakespeare) è una *chatbot* basata sull'intelligenza Artificiale Generativa e sull'apprendimento automatico, rilasciato in versione beta il 21 marzo 2023 come diretto concorrente di ChatGPT.

Midjourney è un algoritmo di intelligenza artificiale da testo a immagine in grado di generare immagini nuove e originali da un semplice campo di testo, cambiando il modo in cui le persone interagiscono con l'arte. Come DALL-E di OpenAI (lanciato il 5 gennaio 2021), Midjourney crea immagini con colori complementari, dettagli nitidi, eccellente uso artistico di luci, ombre, simmetria e prospettiva. Mentre DALL-E offre immagini più realistiche, Midjourney eccelle nella creazione di ambientazioni che imitano determinate tendenze stilistiche o persino pittori specifici.

ChatGPT-4 impiega mille miliardi di parametri ed è stato addestrato su 570 GB di dati testuali (libri, testi su Internet, Wikipedia, articoli, ecc.), con circa 300 miliardi di parole. Il progetto Amazon Olympus prevede l'impiego di un LLM con il doppio dei parametri, oltre due trilioni! Wu Dao 2.0 gestisce 1,75 trilioni di parametri, "studiando" 4,9 TB di dati, di cui 1,2 TB di testo sia in cinese che in inglese.

In Europa, sono in corso solo alcuni progetti di LLM: sostanzialmente Mistral (Francia) e Aleph Alpha (Germania). Lo scorso 26 febbraio, al Mobile World Congress 2024 di Barcellona, è stata peraltro annunciata una *partnership* tra Microsoft - azionista di riferimento (se non di controllo) di OpenAI, con (sembra) 13+ B\$ investiti in ChatGPT (valore stimato circa 90 B\$), sotto la lente delle Autorità *antitrust* UE, UK e USA - e Mistral, che a soli 10 mesi dal lancio nella primavera 2023 è stata valutata 2 B\$ nell'ultimo *round* di finanziamento di 400 M\$. L'unica *startup* "unicorno" (>1 B\$) europea finirebbe quindi – a condizioni non note al momento – nell'orbita dei giganti USA. Ciò ha generato in taluni il dubbio che l'iniziale opposizione del Presidente Macron (oltre alle riserve di Germania e Italia) all'AI Act della Commissione Europea fosse in qualche modo un "cavallo di Troia" per favorire le mire dell'industria transalpina nel settore.

Nel settore della generazione di immagini, algoritmi AI stabili e bilanciati (DALL-E, Lensa, CLIP, Midjourney, ...) richiedono un addestramento ancora più sofisticato sulla base di dati e strumenti estremamente affidabili. Ad esempio, LAION-5B è un *dataset* su

larga scala e di alta qualità costituito da 5,85 miliardi di coppie immagine-testo filtrate da CLIP (*Contrastive Language-Image Pre-training*).

4. Settori applicativi dell'Intelligenza Artificiale

Con il suo enorme potenziale di elaborare grandi quantità di dati ad altissima velocità, per imparare dalle esperienze ed interazioni precedenti e ottenere modelli previsionali basati sui dati storici, l'Intelligenza Artificiale è largamente utilizzata nelle attuali applicazioni. Le tecniche di apprendimento automatico (*machine learning*) svolgono un ruolo cruciale in svariati settori del nostro agire quotidiano. Pensiamo al riconoscimento facciale, all'interpretazione e traduzione delle parole, alla *sentiment analysis*, alla pianificazione delle strategie aziendali. Allo sviluppo di siti web e applicazioni per i *social media*. Al filtraggio di *spam* e altri messaggi di posta elettronica dannosi, identificando modelli di codifica e/o comportamenti e caratteristiche dei mittenti. Alle campagne di *marketing*, generando contenuti e-mail appropriati, indirizzando gli utenti giusti grazie all'analisi predittiva e monitorando le prestazioni delle campagne.

E ancora, nell'aiutare gli automobilisti a raggiungere la loro destinazione con i navigatori *online*. Google Maps utilizza l'apprendimento automatico per combinare e analizzare i modelli di traffico storici e le condizioni del traffico in tempo reale, ottenuti aggregando i dati sulla posizione dagli utenti mondiali di Google Maps. Google stima, pertanto, le condizioni del traffico e seleziona percorsi, utilizzando l'analisi predittiva combinata con fattori quali la qualità delle strade, le loro dimensioni e direzioni, i dati (aperti) delle Amministrazioni territoriali e il *feedback* in tempo reale degli utenti. Gli automobilisti vengono quindi dirottati automaticamente utilizzando le conoscenze su condizioni stradali e incidenti nelle vicinanze.

Sulla base del grado di autonomia delle 'macchine' rispetto al controllo umano, è possibile raggruppare le applicazioni di Intelligenza Artificiale in tre classi principali:

- a) Intelligenza Assistita: aiuta le persone a svolgere compiti (che già svolgono) e prendere decisioni più velocemente e meglio con il supporto della tecnologia (*decision support systems*) - e.g. diagnosi mediche, agri-food, monitoraggio strutturale, ...
- b) Intelligenza Aumentata: aiuta le persone a prendere decisioni migliori, frutto di predizioni da collaborazioni 'uomo-macchina', con schemi 'umani' di ragionamento supportati da correlazioni *big data*, rendendo possibili azioni nuove altrimenti irrealizzabili - e.g. riconoscimento facciale, previsioni comportamenti, ...
- c) Intelligenza Autonoma: riguarda processi decisionali autonomi delle macchine in grado di interpretare senza alcun intervento umano situazioni nuove e prendere

autonomamente decisioni non previste esplicitamente da sviluppatori (*cognitive computing*), nei quali il *software* ha pieni poteri sull'esecuzione e sulle decisioni – e.g. guida autonoma senza conducente (*driverless car*), con rilevanti impatti etici in situazioni di possibili incidenti (scegliere se schiantarsi per evitare un minore, oppure colpire altri, eventualmente anziani, ...).

5. Intelligenza Artificiale e Metaverso

Il **metaverso** può utilizzare l'Intelligenza Artificiale in diversi modi, estremamente coinvolgenti e trasparenti agli utenti. Ad esempio, nelle applicazioni di *gaming*, vari elementi dell'ambiente di gioco – e.g. i “personaggi non giocatori” NPC (*non-player character*) - sono progettati per reagire e rispondere alle azioni dei giocatori, utilizzando le capacità di elaborazione dell'AI per posizionarli negli spazi 3D e creare conversazioni realistiche con gli utenti, eseguire altre attività specifiche, ecc., permettendo l'attività simultanea di una enorme quantità di giocatori potenziali - anche in diverse lingue, che vengono rese interoperabili dagli algoritmi di AI.

[QuestIT](#), *spin-off* dell'Università di Siena, ha sviluppato con la stessa Università e il CNR un programma di Intelligenza Artificiale che sa comprendere la lingua italiana dei segni (LIS) e fornisce risposte tramite avatar. Si tratta di una *chatbot* utilizzabile nel metaverso, ottenuto progettando e allenando modelli di apprendimento automatico capaci di comprendere e parlare la LIS, e in prospettiva estendibile alle altre circa duecento lingue dei segni ufficialmente riconosciute nel mondo. In tal modo, oltre a promuovere l'inclusione sociale (in linea con vari Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda ONU 2030), l'Intelligenza Artificiale porta nel metaverso una parte cospicua della popolazione affetta da disabilità, sinora sostanzialmente esclusa dalla trasformazione digitale della Società.

Si pensi poi alla creazione di avatar nel metaverso. *Scanner* supportati da algoritmi di AI possono analizzare immagini 2D o scansioni in 3D, onde poter generare avatar più realistici. Possono in tal modo essere create più facilmente espressioni facciali, acconciature, vestiti e caratteristiche (“skin”), più rispondenti all'aspetto degli esseri umani digitali che creiamo.

Nella stessa linea di applicabilità al metaverso, la creazione dei “gemelli digitali” (*digital twin*) di interi ecosistemi – individui, comunità, territori, ... fino all'intero Pianeta – trae enorme vantaggio dalla disponibilità di tecnologie di Intelligenza Artificiale. La totale digitalizzazione delle attività di macchine, persone, oggetti e dei loro ambienti circostanti in un ecosistema interconnesso è alla base dello *Spatial Computing*, tecnologia emergente che mira a migliorare ed ottimizzare azioni e interazioni nell'ecosistema, con largo uso di tecnologie *AI-driven*.

Aspetti più controversi riguardano l'utilizzo dell'AI nella manipolazione del consenso attraverso la creazione di gruppi chiusi (*filtering, bubbling, echo chambers* / post-verità, *cognitive bias*, ...), campagne di disinformazione non difficili da convogliare nel metaverso attraverso la polarizzazione del dibattito -- *micro-targeting, fake news, troll, bot*, ... Una delle ragioni per un monitoraggio e controllo attivo degli algoritmi - [eXplainable Artificial Intelligence](#) (XAI).

E ancora il tema della sorveglianza di massa AI-powered. Circa il 90% degli utenti internet nel mondo (~4 miliardi di persone) viene [monitorato in modo automatizzato](#) grazie all'Intelligenza Artificiale. Una quarantina di Nazioni (Cina *in primis*) hanno istituito programmi avanzati di sorveglianza AI, monitorando gli individui e le loro relazioni sociali attraverso la geo-localizzazione e la *sentiment analysis* sui dati estratti dai *social media*. Il metaverso non fa(rà) eccezione, e le informazioni dirette e indirette raccolte hanno un valore enorme non solo per il mercato commerciale, ma sempre più per le forze dell'ordine e le agenzie di *intelligence*.

Infine, non meno rilevante dal punto di vista sociale ed industriale, il tema degli **standard**, spesso imposti dagli attori di mercato più forti sulla base di considerazioni più di mono / oligopolio che utilità per la collettività. Il *world wide web* (www) ha avuto il successo globale che tutti conosciamo grazie agli standard che ne sono stati posti alla base, che permettono ad un qualsiasi *browser* di portarci una pagina all'altra senza incompatibilità. Invece, al momento, nel metaverso ognuno utilizza i propri standard e approcci operativi, sulla base di convenienze e processi / prodotti proprietari. Il rischio è che, quando grandi colossi abbiano fatto investimenti su determinate tecnologie proprietarie, sia difficile portarli sulla strada di tecnologie condivise ed interoperabili. Fortunatamente l'organizzazione internazionale *no profit* [MPAI](#) (*Moving Picture, Audio and Data Coding by Artificial Intelligence*), costituita nel 2022 per sviluppare standard basati sull'Intelligenza Artificiale, sta affrontando il problema degli [standard per il metaverso](#).