



STEFANO TORREGIANI

Gemelli digitali e diritto pubblico: tra questioni ricorrenti e nuove sfide

Il contributo analizza le prospettive e le questioni giuridiche legate alla realizzazione e alla diffusione dei “gemelli digitali” (*Digital Twins*), ossia di quell’agglomerato di tecnologie che consente una riproduzione virtuale “vivente” di oggetti, processi o individui. Il presente lavoro principia dall’approfondimento del profilo definitorio del gemello digitale, al fine di identificarne i tratti salienti e, conseguentemente, di comprendere quali questioni giuridiche (vecchie o nuove) potrebbero emergere a seguito della sua diffusione. Nello specifico, tale tecnologia è destinata ad accentuare le problematiche giuridiche in materia di *data governance*, giacché, da un lato, l’efficienza del gemello digitale richiede accesso e circolazione massiva di informazioni; mentre, dall’altro, rimane necessario garantire il pieno rispetto della normativa applicabile, specie in materia di protezione dei dati (personali e non) e di sicurezza informatica. Il contributo si pone come punto di partenza per avviare una profonda riflessione sul ruolo che può ricoprire il diritto pubblico nell’orientare lo sviluppo di tale tecnologia, secondo un approccio giuridico che, oltre a prevenire abusi e vulnerabilità, guidi la diffusione dei gemelli digitali in una direzione compatibile con i diritti fondamentali e il benessere collettivo, bilanciando protezione e innovazione.

Gemello digitale – Digital Twin – Governance dei dati – Diritto dei dati

Digital twins and public law: recurring issues and new challenges

This paper examines the legal perspectives and challenges related to the development and spread of “Digital Twins,” i.e., the mixture of technologies enabling the creation of a “living” virtual replica of objects, processes, or individuals. This paper begins with an in-depth analysis of the definition of Digital Twins, in order to identify their essential features and, therefore, to understand which legal issues (both recurring and novel) may arise from their implementation. This technology is likely to heighten data governance challenges: on the one hand, the efficiency of Digital Twins lies on broad access to and free flow of information; on the other hand, it is essential to ensure full compliance with applicable regulations, especially in relation to (personal and non-personal) data protection and cybersecurity. This paper is meant as a starting point for a deeper reflection on the purpose of Public Law in the development of this technology, according to a legal approach that not only prevents abuses and vulnerabilities, but also steers the spread of Digital Twins in accordance with fundamental rights and collective well-being, balancing protection and innovation.

Digital Twin – Data Governance – Data Law

L’Autore è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Scienze Giuridiche dell’Università degli Studi di Firenze (SSD_IUS/08)

Questo contributo è presentato nell’ambito del Progetto CRIPTUS – “Centro di Ricerca Interdisciplinare sulle Politiche Tecnologiche Urbane Sostenibili” (CUP: B13C23001280009)

SOMMARIO: 1. Introduzione. – 2. Definizioni ed elementi costitutivi del gemello digitale. – 3. L'unione fa la forza: il gemello digitale come agglomerato di tecnologie. – 4. Gemello digitale e diritto dei dati: tra vecchie e nuove questioni. – 5. Osservazioni conclusive: quali prospettive di regolazione?

1. Introduzione

Il “gemello digitale”, traduzione letterale della originaria versione anglosassone *Digital Twin*, rappresenta uno strumento destinato a rivoluzionare la società nella quale viviamo. La sua concezione affonda le radici negli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso, quando, nell'ambito del programma Apollo, la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) iniziò a costruire veicoli identici a quelli mandati nello spazio al fine di assistere gli astronauti e gli ingegneri durante le fasi più delicate della missione¹. Con l'avvento della digitalizzazione, e ancor più della datificazione², l'idea di governare il mondo fisico attraverso una controparte simmetrica virtuale ha ricevuto una spinta propulsiva enorme.

L'utilizzo combinato delle più recenti tecnologie dell'informazione e della comunicazione – fra cui, come si vedrà, *cloud computing*³, *data analytics*⁴,

Intelligenza Artificiale⁵, e *Internet of Things*⁶ – consente infatti di creare una copia “vivente”, di precisione millimetrica, di una persona fisica, di un processo produttivo, di un oggetto o di un insieme di più oggetti, offrendo la possibilità di prendere decisioni migliori, anticipare eventi accidentali e pregiudizievoli, o testare in anticipo eventuali soluzioni migliorative.

Con il progresso delle tecnologie digitali, è progredito di pari passo il fenomeno del gemello digitale. Sono in costante aumento progetti aventi ad oggetto questa tecnologia che oggi trova applicazione, in particolare, nei settori della manifattura, dell'urbanistica, della salute, della tutela dell'ambiente e dell'energia⁷. La sua diffusione su larga scala è destinata a provocare un mutamento di paradigma tanto sociale quanto culturale, poiché diverrà il mezzo su cui si baseranno gran parte delle decisioni politiche, economiche, e finanche personali, riguardanti la nostra esistenza⁸.

1. PALENSKY-CVETKOVIC-GUSAIN-JOSEPH 2022.

2. VAN DIJCK 2014, p. 197 ss.

3. WINKLER-MOSCA 2015, p. 121 ss.

4. ZENO-ZENCOVICH-GIANNONE CODIGLIONE 2016, p. 34.

5. SIMONCINI-SUWEIS 2019, p. 87 ss.

6. MORO VISCONTI 2016, p. 536 ss.

7. SHEN-ARRAÑO-VARGAS-KONSTANTINOU 2023; FULLER-FAN-DAY-BARLOW 2020.

8. Basti in proposito osservare il percorso avviato da qualche anno dall'Unione europea che ha iniziato a promuovere numerosi progetti relativi a gemelli digitali, fra i quali si ricordano: *Destination Earth* (*DestinE*), concernente la creazione di un *Digital Twin* della Terra, lo *European Digital Twin Ocean* (*EU DTO*), per fornire una descrizione multidimensionale e ad alta risoluzione dell'oceano, il gemello digitale della rete elettrica europea, destinato a migliorare l'efficienza e l'intelligenza della rete in modo da rendere più intelligente il sistema energetico nel suo complesso e il *Virtual Human Twin* europeo, capace di riprodurre digitalmente il corpo umano. Sul punto, si veda la Comunicazione della Commissione, *Un'iniziativa*

Come ogni nuovo mezzo tecnologico le cui potenzialità non sono ancora del tutto note, lo sviluppo del *Digital Twin* porta con sé una serie di interrogativi, anche di carattere giuridico, che meritano adeguato approfondimento. Tuttavia, a fronte di simili – dirompenti – prospettive, la ricerca giuridica sul tema stenta ancora a decollare del tutto. Sebbene il gemello digitale sia già da tempo oggetto di studio in ambito scientifico⁹, arrivati a questo punto dello sviluppo pare necessario dedicare maggiore attenzione ai profili di diritto emergenti dalla sua applicazione, specie in un contesto come quello italiano dove stanno trovando sempre più spazio progetti incentrati sulla realizzazione di *Digital Twin*¹⁰.

Tale approfondimento si rivela quantomai necessario in riferimento a uno strumento come quello in esame, dove l'integrazione funzionale di più mezzi tecnologici potrebbe innescare un effetto moltiplicatore del suo impatto, arrivando a un livello di complessità ulteriore e, per certi versi, nuovo rispetto a quanto di regola avviene con le singole tecnologie considerate isolatamente. Appare pertanto opportuno domandarsi quale ruolo può rivestire il diritto nell'orientare un impiego proficuo di tale tecnologia, prevenendo le ricadute negative e predisponendo le migliori condizioni affinché i benefici siano massimizzati.

Fra le diverse prospettive giuridiche da cui può essere analizzato un fenomeno di simile portata, quella costituzionalistica consente di apprezzare più compiutamente la potenziale incidenza dei gemelli digitali sulla nostra esistenza. Essi sono destinati a trasformarsi nella infrastruttura tramite cui verrà esercitato il potere pubblico e privato e che plasmerà la libertà di autodeterminazione dell'individuo di domani. In tale ottica, il presente contributo tenterà di stimolare una riflessione più profonda sul tema, al preciso fine di individuare quali sono le opportunità e quali potrebbero essere

invece gli svantaggi derivanti dall'adozione di un approccio regolatorio¹¹.

I paragrafi che seguono esordiranno con un inquadramento descrittivo del tema, analizzando la terminologia e le principali caratteristiche riguardanti il *Digital Twin*. Successivamente, si passerà all'esame dell'articolazione tecnica di tale strumento, individuando le tecnologie utili a costruire una replica digitale e dinamica di un'entità fisica.

Tale illustrazione preliminare risulta propedeutica alla corretta identificazione di alcune fra le questioni giuridiche di maggiore momento che emergono nel contesto della realizzazione del *Digital Twin*: trattandosi di uno strumento che, in ragione della sua poliedricità, interseca numerosi ambiti normativi, ci si soffermerà nello specifico sulle questioni inerenti al diritto dei dati, in quanto funzionali a trovare una risposta alla domanda di ricerca che guida il presente studio: è necessaria una regolazione settoriale dedicata ai gemelli digitali?

2. Definizioni ed elementi costitutivi del gemello digitale

La comprensione del gemello digitale passa necessariamente dalla preventiva ricerca di una definizione di *Digital Twin* e dei suoi tratti caratterizzanti, specie al fine di distinguerlo da strumenti tecnologici che svolgono funzioni parzialmente simili.

In dottrina, la concettualizzazione del gemello digitale – ma non ancora la coniazione vera e propria del termine – viene generalmente fatta risalire ai primi anni Duemila, quando Michael Grieves introdusse l'idea di un equivalente digitale di un prodotto fisico reale durante il corso sul *Product Lifecycle Management* (PLM) alla *University of Michigan*¹².

Nella teoria di Grieves, il paradigma del *Product Lifecycle Management* consisteva in un approccio che, nell'ambito del processo produttivo manifatturiero, mirava a integrare in maniera

dell'UE sul web 4.0 e i mondi virtuali: muoversi in anticipo verso la prossima transizione tecnologica, doc. COM(2023) 442.

9. SEMERARO-LEZOCHE-PANETTO-DASSISTI 2021.

10. Ad esempio, con riferimento alle smart cities, si vedano i casi dei gemelli digitali urbani dell'Emilia-Romagna (cfr. *Esplorazione dei gemelli digitali: indagine sui casi d'uso in Emilia-Romagna*, Settembre 2024).

11. SIMONCINI 2021, p. 724 ss.

12. GRIEVES 2014.

onnicomprensiva tutte le informazioni relative a un prodotto, allo scopo di gestire in maniera puntuale ogni aspetto del suo ciclo di vita: dalla progettazione, alla realizzazione, dalla distribuzione alla manutenzione¹³.

In origine, Grieves si astiene volontariamente dal fornire una vera e propria definizione di PLM, in quanto ritenuta una operazione eccessivamente limitante per un paradigma ancora in fase di sviluppo embrionale. Egli, per converso, si affida a quelli che definisce *visual models*. Sebbene non fosse ancora comparso il termine *Digital Twin*, tali modelli visuali lasciavano già intravedere chiaramente le caratteristiche principali di quello che viene attualmente definito gemello digitale. Oltre all'idea di creare un *informational equivalent* di un oggetto reale, l'autore sviluppa il paradigma del PLM tramite il riferimento al cosiddetto *Mirrored Spaces Model* (MSM), ossia a un modello costituito dai tre elementi che ancora oggi contraddistinguono essenzialmente il *Digital Twin*: lo spazio reale, lo spazio virtuale e il meccanismo di collegamento tra questi due spazi¹⁴.

Dopo i primi riferimenti comparsi nella dottrina ingegneristica statunitense¹⁵, la locuzione *Digital Twin* è poi salita definitivamente alla ribalta nei primi anni Dieci¹⁶, quando i ricercatori della NASA e della U.S. Air Force si sono riferiti ad essa al fine di sollecitare un cambio di paradigma nello sviluppo della successiva generazione di veicoli aerei delle rispettive agenzie governative¹⁷.

Nel proprio lavoro, i ricercatori descrivono il *Digital Twin* come “an integrated multiphysics, multiscale, probabilistic simulation of an as-built vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin”. Fra i benefici derivanti dallo sviluppo di un simile modello vengono individuati la capacità di

prevedere continuativamente lo stato di salute del veicolo, la sua vita residua, la sua risposta a eventi critici, nonché quella di mitigare i danni o il deterioramento tramite meccanismi di auto-riparazione o modifiche *ad hoc*¹⁸.

Negli anni successivi, Grieves torna sulla nozione di *Digital Twin* e aggiorna la descrizione abbozzata in precedenza. Esso viene definito come “a set of virtual information constructs that fully describes a potential or actual physical manufactured product from the micro atomic level to the macro geometrical level”¹⁹.

L'autore lo raffigura, dunque, come sistema funzionale a seguire dinamicamente l'intero ciclo di vita del prodotto che rispecchia, incentrando la descrizione sulla parte relativa al costrutto informativo, ma si astiene dal qualificarlo come vera e propria tecnologia a sé stante²⁰. In quest'ottica, la realizzazione del gemello prende avvio dalla fase di progettazione, quando il bene fisico non esiste ancora e viene plasmato sulla base di quello realizzato nello spazio virtuale, passa per le fasi di produzione e di operatività, caratterizzate dal costante flusso di dati tra i due versanti materiale e digitale, e arriva alla fase finale, quella di smaltimento, ove al sistema fisico sopravvive quello virtuale. In tal modo, la conoscenza esperienziale maturata durante il periodo di attività può anche essere utilizzata per perfezionare la messa a punto di nuovi prodotti, nonché di futuri gemelli digitali²¹.

In seguito, la dottrina, specie nei diversi ambiti della *hard science*, si è prodigata nello studio del *Digital Twin* arrivando a partorire una molteplicità di definizioni con l'intento di perimetrare semanticamente un fenomeno ontologicamente poliedrico. Si tratta di costrutti imperniati su un nucleo comune – costituito dalla riproduzione digitale di un oggetto fisico – ma al contempo caratterizzati

13. GRIEVES 2005, p. 71 ss.

14. *Ivi*.

15. TUEGEL-INGRAFFEA-EASON-SPOTTSMWOOD 2011.

16. BARRICELLI-CASIRAGHI-FOGLI 2019, p. 167655.

17. GLAESSGEN-STARGEL 2013.

18. *Ivi*, pp. 7-8.

19. GRIEVES-VICKERS 2017, p. 85 ss.

20. ZHENG-YANG-CHENG 2019, p. 1141 ss.

21. GRIEVES-VICKERS 2017, p. 85 ss.

da lievi differenze spesso dipendenti dal diverso contesto di applicazione settoriale²².

In particolare, la definizione tende a cambiare a seconda dell'aspetto cui l'autore attribuisce maggiore rilevanza: alcuni fanno riferimento al concetto di rappresentazione virtuale del prodotto reale, intesa come controparte fisica capace di replicarne l'intero ciclo di vita²³, altri richiamano l'idea di un "modello vivente" che si adatta continuamente ai cambiamenti prodotti nello spazio fisico utilizzando dati sensoriali in tempo reale²⁴.

La descrizione che forse più di altre riesce a sintetizzare aspetti cardine e funzioni salienti del *Digital Twin*, e che consente di avere maggiore contezza dell'impatto travolgente che questo strumento potrebbe avere rispetto alle singole tecnologie che potrebbero comporlo, è quella fornita da Barricelli, Casiraghi e Fogli, secondo cui: "DTs can be defined as (physical and/or virtual) machines or computer-based models that are simulating, emulating, mirroring, or 'twinning' the life of a physical entity, which may be an object, a process, a human, or a human-related feature. Each DT is linked to its physical twin through a unique key [...], identifying the physical twin, and therefore allowing to establish a bijective relationship between the DT and its twin. A DT is more than a simple model or simulation [...]. A DT is a living, intelligent and evolving model, being the virtual counterpart of a physical entity or process. It follows the lifecycle of its physical twin to monitor, control, and optimize its processes and functions. It continuously predicts future statuses (e.g., defects, damages, failures), and allows simulating and testing novel configurations, in order to preventively apply maintenance operations. More specifically, the

twinning process is allowed by the continuous interaction, communication, and synchronization (closed-loop optimization) between the DT, its physical twin and the external, surrounding environment"²⁵.

Spostandosi dal piano dottrinale a quello istituzionale, più precisamente, quello europeo, una prima definizione di gemello digitale è stata fornita dalla Commissione europea all'inizio del 2020, nella comunicazione *Una strategia europea per i dati*²⁶, uno dei documenti cardine dell'attuale stagione politica avviata dall'Unione nell'ambito dell'economia dei dati²⁷.

Nella parte introduttiva della comunicazione, incentrata sull'enorme rilievo che hanno assunto i dati per lo sviluppo economico del continente, la Commissione dedica un riferimento anche al ruolo che siffatti dati svolgeranno per la diffusione dei gemelli digitali, specie nell'industria manifatturiera. In tale passaggio, viene affermato che essi "creano una copia virtuale di un prodotto, processo o sistema fisico che può ad esempio prevedere, sulla base dell'analisi dei dati, quando un'apparecchiatura avrà un guasto, consentendo di incrementare la produttività mediante una manutenzione predittiva"²⁸.

Ciò che emerge chiaramente dall'analisi della dottrina in materia è che il minimo comun denominatore che sottende qualsiasi tipologia di gemello digitale, indipendentemente dallo specifico settore di applicazione, risiede nel concetto di copia, replica, rappresentazione di carattere virtuale e legata da una stretta interconnessione con la controparte fisica che rispecchia.

Pertanto, le caratteristiche essenziali del fenomeno in parola possono ancora oggi riassumersi

22. SEMERARO-LEZOCHE-PANETTO-DASSISTI 2021.

23. SCHROEDER-STEINMETZ-PEREIRA-ESPINDOLA 2016, p. 12 ss.

24. LIU-MEYENDORF-MRAD 2018.

25. BARRICELLI-CASIRAGHI-FOGLI 2019, p. 167656.

26. Comunicazione della Commissione, *Una strategia europea per i dati*, doc. COM(2020) 66.

27. Proprio con tale comunicazione sono infatti stati concepiti quei provvedimenti normativi che sarebbero poi diventati il Regolamento (UE) 2022/868 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2022 relativo alla governance europea dei dati e che modifica il regolamento (UE) 2018/1724 (noto come Data Governance Act) e il Regolamento (UE) 2023/2854 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 dicembre 2023, riguardante norme armonizzate sull'accesso equo ai dati e sul loro utilizzo e che modifica il regolamento (UE) 2017/2394 e la direttiva (UE) 2020/1828 (noto come Data Act).

28. Comunicazione della Commissione, *Una strategia europea per i dati*, cit., p. 3.

con quelle individuate da Grieves in riferimento al PLM: a) lo spazio reale contenente l'oggetto (o il processo) fisico; b) lo spazio virtuale dove viene replicato quanto presente nello spazio fisico; c) la connessione bidirezionale tra i due spazi²⁹.

Tale architettura qualifica univocamente il gemello digitale, ponendolo su un piano maggiormente innovativo rispetto ad altre metodologie sviluppate in passato, da considerarsi sue antesignane.

Il *Digital Twin* si pone infatti al culmine di un percorso evolutivo iniziato con lo sviluppo di altri ambiti di ricerca. Fra essi si ricordano, il *Virtual Manufacturing systems*, in cui viene riprodotta virtualmente una entità fisica, ma senza stabilire una connessione tra spazio fisico e spazio virtuale; il *Model-based Predictive control* in cui viene realizzato un sistema virtuale al preciso scopo di predire il comportamento di un sistema reale, ma senza quella perfetta sincronia reale-virtuale che contraddistingue il *Digital Twin*; il *Building Information Modelling* (BIM), in cui la costruzione di un modello digitale finalizzato a gestire e monitorare l'operatività di un bene fisico non viene compiuta ricorrendo ai dati prodotti in tempo reale³⁰.

Pertanto, il gemello digitale non deve essere confuso né con la semplice ricostruzione in versione digitale di una entità fisica esistente senza che ci sia alcuno scambio di dati tra entità reale e entità virtuale (nota come *Digital Model*), né soprattutto – e qui la distinzione appare più labile – con la cosiddetta *Digital Shadow*, in cui il flusso di dati rimane unidirezionale, dall'oggetto fisico verso quello virtuale, sicché qualsiasi alterazione dell'entità reale

produce un corrispondente cambiamento in quella digitale, ma non viceversa³¹.

Il gemello digitale – quantomeno come inteso nell'ambito del presente contributo – è uno strumento che, attraverso un complesso meccanismo di sensori e di attuatori, garantisce una costante comunicazione tra la dimensione reale e la dimensione virtuale, le quali vivono in una simbiosi biunivoca e interdipendente. In altri termini, come è stato osservato, “[t]ali gemelli digitali sono, dunque, molto più di una replica digitale di sistemi fisici, persone e ambienti. Essi vanno tenuti distinti da altri approcci di analisi e visualizzazione dei dati, proprio perché sono in grado di integrare dati provenienti da varie fonti in tempo reale e di valutare scenari futuri attraverso simulazioni avanzate”³².

Tale peculiarità rende unica, anche dal punto di vista giuridico, una tecnologia di questo tipo, laddove gli accadimenti del mondo fisico vengono dettati, direttamente o indirettamente, da eventi, scelte o azioni che avvengono nel mondo virtuale.

In questa prospettiva, stanti le ricadute che possono derivare dall'adozione dell'una o dell'altra delle alternative prospettate in dottrina, risulta dirimente giungere a una definizione giuridica chiara e univoca di gemello digitale³³: la qualificazione del *Digital Twin* incide infatti sulla delimitazione dell'oggetto tecnologico cui l'ordinamento deve riferirsi, sia per tutelare gli individui, che per orientarne il corretto sviluppo.

Una definizione incardinata sul rapporto biunivoco tra spazio reale e spazio virtuale – ove il gemello digitale viene tratteggiato come infrastruttura capace di incidere direttamente su beni

29. È bene segnalare che successivamente alle prime concettualizzazioni di Grieves, la dottrina è arrivata a individuare anche ulteriori dimensioni del gemello digitale. Si veda, in particolare, TAO-ZHANG-LIU-NEE 2018, pp. 169-172, dove all'architettura proposta da Grieves vengono aggiunte le dimensioni del *Services model* e del *Data Model*.

30. SEMERARO-LEZOCHE-PANETTO-DASSISTI 2021, p. 11. La distinzione tra *Digital Twin* e *Building Information Modelling* (BIM) assume particolare rilevanza nell'odierno contesto italiano, alla luce della recente entrata in vigore del Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 (cd. Codice dei contratti pubblici) che all'art. 43 prescrive l'obbligo, a decorrere dal 1° gennaio 2025, nell'ambito delle procedure pubbliche di affidamento di contratti, di adottare il modello BIM per la progettazione e la realizzazione di opere di nuova costruzione e per gli interventi su costruzioni esistenti per importo a base di gara superiore a 1 milione di euro. Per un approfondimento sulle implicazioni giuridiche derivanti dall'utilizzo di tale strumento si rinvia a COSTANZI 2020.

31. FULLER-FAN-DAY-BARLOW 2020, p. 108952 ss.

32. SPEZIALE-BASUNTI 2024, p. 582.

33. SUFFIA 2023, p. 122 ss.

giuridici di rango primario – non può che porre questioni profondamente diverse rispetto a una concezione normativa in cui esso viene inquadrato come modello puramente descrittivo con effetti operativi inevitabilmente più contenuti. La perimetrazione normativa del concetto di gemello digitale rappresenta pertanto una operazione tanto delicata quanto decisiva, dalla quale dipenderà la misura e l'estensione dell'intervento regolatorio necessario ad assicurare che il suo sviluppo avvenga nel pieno rispetto dei diritti fondamentali.

3. L'unione fa la forza: il gemello digitale come agglomerato di tecnologie

Dal punto di vista prettamente tecnico, il gemello digitale può essere sinteticamente descritto come un algoritmo in grado di replicare integralmente nel mondo digitale un oggetto o un processo reale³⁴.

Tuttavia, scendendo nel dettaglio, con il termine gemello digitale non si indica di norma una unica e specifica tecnologia. La rappresentazione virtuale di una entità fisica esistente viene infatti ottenuta tramite l'integrazione di più strumenti che, mettendo a fattor comune le proprie funzionalità individuali, riescono a dare vita al *Digital Twin*³⁵.

Sebbene non possa essere individuato *a priori* un insieme di mezzi la cui combinazione è da considerarsi essenziale per la realizzazione del gemello digitale, la prima delle cosiddette *enabling technologies* non può che essere quella che garantisce l'interconnessione tra il mondo reale e il mondo virtuale: l'*Internet of Things* (IoT)³⁶.

Si tratta di una tecnologia basata su una infrastruttura, materiale e immateriale, che consente il trasporto, l'archiviazione, l'elaborazione e l'accesso

ai dati generati (direttamente o tramite l'utilizzo degli utenti) da *smart devices* equipaggiati con sensori e attuatori tra loro collegati tramite un *network*³⁷.

Tale tecnologia ricopre una posizione chiave, per alcuni primaria³⁸, nell'organigramma del gemello digitale. L'IoT consente la raccolta in tempo reale di quei dati provenienti dall'ambiente fisico che risultano essenziali per la realizzazione di una replica virtuale fedele alla realtà e in costante aggiornamento. Per un verso, i sensori intelligenti acquisiscono dati relativi alle caratteristiche dell'oggetto fisico, al suo funzionamento, a eventuali anomalie e alle interazioni con l'ambiente circostante, al fine di procedere alla mappatura (dinamica) dello spazio reale. Per l'altro, proprio grazie ai *feedback* provenienti dallo spazio virtuale, gli attuatori consentiranno al corrispondente oggetto fisico di "reagire" tempestivamente secondo le istruzioni impartite, ad esempio prevenendo un guasto o modificando il processo di funzionamento³⁹.

L'IoT mette dunque a disposizione del gemello digitale dati altamente dettagliati e variegati, sulla cui base la realtà viene poi "ricostruita" nel mondo virtuale⁴⁰.

Le caratteristiche dei dati così raccolti, definiti *big in nature* in ragione della loro mole ed eterogeneità⁴¹, consentono di individuare una ulteriore tecnologia da integrare nell'ingranaggio del *Digital Twin*: i *big data*.

I dati vengono considerati *big* quando riescono a cumulare le tre caratteristiche – le cosiddette tre "v" – relative al *volume*, ossia alla quantità ingente di informazioni a disposizione, alla *variety*, in quanto di contenuto, provenienza e formato diversificati, e alla *velocity*, riferita alla grande velocità con cui le informazioni vengono prodotte e a cui dovrebbero

34. RATHORE-SHAH-SHUKLA et al. 2021, p. 32030.

35. *Ivi*, p. 32044.

36. Nel presente contributo, il riferimento comprende anche quello che parte della dottrina tecnica definisce come *Industrial Internet of Things* (IIoT), inteso quale applicazione del tradizionale IoT al processo manifatturiero e industriale. Per un approfondimento, si veda: BOYES-HALLAQ-CUNNINGHAM-WATSON 2018.

37. DORSEMAINE-GAULIER-WARY et al. 2015, p. 72 ss.

38. ATTARAN-CELIK 2023, p. 2.

39. ZHENG-YANG-CHENG 2019, p. 1141 ss.

40. KAUR-MISHRA-MAHESHWARI 2020, p. 3 ss.

41. RATHORE-SHAH-SHUKLA et al. 2021, p. 32039.

essere analizzate⁴². A queste, la dottrina ha aggiunto nel tempo altri aspetti, fra cui, la *veracity*, ossia la (non sempre ottimale) qualità e affidabilità delle informazioni e, infine, il *value*, che indica l'elevato valore che può essere estratto dalle stesse⁴³.

Quando si parla di *big data*, non ci si riferisce solamente ai dati che posseggono le caratteristiche (“v”) anzidette, ma anche alla strumentazione dotata della capacità di analizzare, in un tempo tollerabile, i dati in questione e di estrarne valore tramite l'individuazione di correlazioni e *pattern* nascosti⁴⁴. Capacità di cui sono invece sprovvisti i tradizionali strumenti informatici⁴⁵.

In tale ottica assume rilievo anche la *data analytics*, o meglio, alla luce di quanto appena esposto, la *big data analytics*, in quanto consente di trasformare la moltitudine di dati raccolti in informazioni di valore. Nello specifico, l'estrazione della “conoscenza” insita nei dati avviene attraverso un processo composto da operazioni di *data management* atte a gestire la raccolta di dati grezzi, la loro memorizzazione e la preparazione per lo svolgimento delle successive operazioni di *data analytics* vera e propria, nel contesto delle quali, attraverso l'impiego di appositi algoritmi, vengono estrapolate le informazioni essenziali per l'operatività del *Digital Twin*⁴⁶.

Per tale ragione, la necessità di replicare accuratamente lo spazio reale, specie in contesti in cui il *Digital Twin* rispecchia ambienti ampi e complessi, attribuisce una importanza capitale alla tecnologia *big data*, senza la quale il gemello sarebbe uno strumento inefficiente⁴⁷.

Peraltro, il volume, la varietà e la velocità di questi dati richiedono una piattaforma che possa fungere da adeguato supporto all'imponente flusso di informazioni raccolte e trattate. Tale esigenza può essere soddisfatta dal *cloud computing*⁴⁸.

Tale tecnologia abilitante garantisce accesso dinamico a un insieme di risorse costituite da network, server e applicazioni, sulla base di un modello condiviso e scalabile⁴⁹. Le sue peculiarità risultano particolarmente preziose per il *Digital Twin* dal momento che corredano il sistema della adeguata capacità di elaborazione e di archiviazione dei grandi volumi di dati, garantendo al contempo tempi di analisi ridotti e facoltà di accesso ubiqua⁵⁰.

Infine, fra le tecnologie che possono equipaggiare il gemello digitale non può di certo essere omessa quella che, attualmente, sta suscitando maggiore attenzione: l'Intelligenza Artificiale. È di per sé evidente il valore aggiunto che può derivare dall'apporto di “un sistema automatizzato progettato per funzionare con livelli di autonomia variabili e che [...] deduce dall'input che riceve come generare output quali previsioni, contenuti, raccomandazioni o decisioni che possono influenzare ambienti fisici o virtuali”⁵¹.

L'impiego dell'Intelligenza Artificiale (IA), comprensiva di tutti i suoi sottoinsiemi come il Machine-Learning e il Deep Learning, può incrementare le potenzialità del gemello digitale rendendolo, per l'appunto, “intelligente” e dunque capace di analizzare i dati al fine, fra l'altro, di ottimizzare i processi decisionali, di fornire previsioni sul funzionamento del prodotto, nonché

42. BUZZACCHI 2016, p. 69 ss.

43. CALZOLAIO 2017, p. 599.

44. QI-TAO 2018, p. 3586.

45. AGCM, AGCOM, Garante per la protezione dei dati personali, *Indagine conoscitiva sui big data*, 2018, spec. pp. 7-8.

46. GANDOMI-HAIDER 2015, p. 137 ss.

47. QI-TAO 2018, p. 3591.

48. RATHORE-SHAH-SHUKLA et al. 2021, p. 32039.

49. BONCINELLI 2021, p. 29 ss.

50. ATTARAN-CELIK 2023, p. 2.

51. Questa la definizione normativa individuata dall'art. 3, p.to 1) del Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 giugno 2024, che stabilisce regole armonizzate sull'intelligenza artificiale e modifica i regolamenti (CE) n. 300/2008 (UE) n. 167/2013, (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 e (UE) 2019/2144 e le direttive 2014/90/UE, (UE) 2016/797 e (UE) 2020/1828 (regolamento sull'intelligenza artificiale).

di valutare anticipatamente l'impatto derivante dall'implementazione di eventuali modifiche⁵².

Inoltre, l'integrazione dell'IA consente di combinare in modo ottimale i dati raccolti dallo spazio reale per colmare le lacune che, invece, spesso pregiudicano l'affidabilità dei sistemi di simulazione tradizionali: quella parte di informazioni che non può essere rilevata direttamente dalla strumentazione ICT viene, in un certo senso, "dedotta" dal *Digital Twin* dotato di intelligenza artificiale. Quindi, il valore aggiunto che contraddistingue il gemello digitale rispetto agli altri strumenti di simulazione già sperimentati risiede proprio nella capacità di compensare eventuali lacune nella rappresentazione virtuale attraverso una avanzata combinazione delle informazioni a disposizione⁵³.

In ogni caso, analogamente a quanto osservato con riferimento al profilo definitorio, anche la dimensione tecnologica del gemello digitale non è neutra sul piano giuridico. La combinazione delle tecnologie impiegate, pur non esaurendo le possibili modalità di realizzazione del sistema⁵⁴, assume rilievo giuridico in quanto, potendo ciascuna componente essere sussunta al di sotto di un differente regime normativo, l'assetto tecnico del gemello digitale finisce per incidere, in modo non trascurabile, sul perimetro delle tutele e degli istituti applicabili.

4. Gemello digitale e diritto dei dati: tra vecchie e nuove questioni

Il gemello digitale, termine metaforico sintatticamente imperniato su una dimensione virtuale diversa dalla realtà, sembra porsi su una direttrice opposta rispetto ad altri strumenti oggi maggiormente diffusi o attenzionati, come i social network o la realtà virtuale. Se questi ultimi sono programmati per spingerci continuamente in un mondo diverso da quello materiale, dove la percezione

fisica scolora giorno dopo giorno, con effetti tutt'altro che positivi⁵⁵, il *Digital Twin* sembra voler invertire questo esodo, della propria personalità individuale e del proprio ecosistema relazionale, verso lo spazio virtuale: il gemello digitale non promuove una migrazione verso la virtualità, ma mira a sfruttare lo spazio digitale per apportare benefici all'ambiente fisico, migliorando la qualità della vita dei consociati e (ri)attribuendo valore al mondo reale. Si tratta di uno strumento al servizio della realtà e non di una via di fuga da essa.

In questo senso, il *Digital Twin*, rappresentando la *practical innovation* per eccellenza, è capace di alterare significativamente il modo in cui le persone pensano e interagiscono⁵⁶.

Pertanto, se è vero che ai grandi benefici connessi all'utilizzo di nuove tecnologie fanno da contraltare le potenziali ripercussioni negative derivanti da un impiego illecito o incontrollato delle medesime, tale evidenza vale *a fortiori* per il caso del gemello digitale, in cui le problematiche giuridiche attinenti a ciascuna delle singole tecnologie abilitanti non solo si assommano, ma, integrandosi, rischiano di moltiplicarsi, giungendo a un livello di complessità nuovo.

La sua natura poli-tecnologica e, soprattutto, la sua capacità di modellare "in tempo reale" il mondo fisico rievocano questioni già note al diritto delle tecnologie, ponendole tuttavia in una prospettiva per certi versi inedita. Ciò rende immediatamente evidente l'importanza che può ricoprire il diritto nell'orientare il corretto impiego di tale strumento⁵⁷.

In tale ottica, appare necessario riconoscere preliminarmente quali questioni giuridiche possono emergere nel contesto della realizzazione e della operatività del gemello digitale. Tale operazione risulta utile a stabilire un punto di partenza da cui muovere per impostare una riflessione

52. SHEN-ARRAÑO-VARGAS-KONSTANTINOU 2023.

53. GARSKE-HOLZ-EKARDT 2024.

54. Non esistendo allo stato attuale un gruppo predefinito di tecnologie la cui presenza è da considerarsi necessaria, quelle menzionate nel presente paragrafo non costituiscono un elenco minimo, né tantomeno esaustivo, di strumenti tecnologici necessari alla realizzazione del *Digital Twin*; si veda, ad esempio, ATTARAN-CELIK 2023, dove fra le *Digital twin technologies* viene inclusa anche la *Extended Reality*.

55. CALZOLAIO 2023-A, p. 281 e ss.; CALZOLAIO 2023-B, p. 291 ss.

56. SIMONCINI-LONGO 2021, p. 27 ss.

57. ZOLTICK-MAISEL 2023, p. 1167 ss.

più profonda in merito all'adeguatezza del quadro normativo vigente rispetto all'obiettivo di valorizzare i benefici del gemello digitale senza sacrificare illegittimamente i diritti e gli interessi dei singoli e della collettività⁵⁸.

Fra la moltitudine di problematiche che meritano l'attenzione del giurista⁵⁹, il presente studio si focalizza su quelle strettamente legate alla materia prima senza la quale il *Digital Twin* non potrebbe esistere: i dati⁶⁰.

Un percorso argomentativo improntato a una logica consequenziale impone di illustrare per prima la tematica della *data governance*, la quale, grazie al suo carattere onnicomprensivo, è in grado di inglobare ognuna delle varie dimensioni concernenti la gestione e il trattamento dei dati⁶¹.

Il gemello digitale è tanto più efficiente quanto più ottimale è la governance dei dati che lo alimentano⁶². Esso presuppone pertanto un insieme di policies, procedimenti, misure tecniche e organizzative che, da un lato, consentano di sfruttare al meglio il patrimonio informativo a disposizione⁶³, mentre dall'altro, garantiscano la conformità alle normative rilevanti in materia di diritto dei dati⁶⁴.

In altri termini, la governance dei dati del gemello digitale è chiamata a trovare un difficile equilibrio tra esigenze e interessi che spesso si trovano in contrapposizione. Frequentemente, alla necessità – dettata dal livello di dettaglio e di aggiornamento del gemello – di avere a disposizione la più elevata quantità possibile di dati e di farli circolare rapidamente si contrappone l'obbligo normativo di tutelare determinati tipi di informazioni, perché

di carattere personale o perché sottoposte a un regime di protezione specifico che ne impedisce, o comunque ne limita, l'accesso⁶⁵.

Per tale ragione, la data governance si intreccia, innanzitutto, con gli aspetti relativi alla protezione dei dati personali. La qualifica di diritto fondamentale all'interno del tessuto ordinamentale europeo rende la *personal data protection* una questione particolarmente delicata e meritevole di considerazione⁶⁶.

Basti in tal caso fare riferimento alle ipotesi di *Individual Digital Twin* in cui viene creata una replica virtuale della persona fisica attraverso la raccolta e l'elaborazione di tutte le informazioni di carattere personale che la riguardano. Sebbene tale evenienza abbia incommensurabili risvolti benefici per l'interessato, specialmente di natura medica, è evidente come la creazione di una copia virtuale in tutto e per tutto coincidente con un essere umano vivente e, addirittura, in grado di anticiparne il comportamento, pone serie preoccupazioni in punto di diritto alla autodeterminazione – non solo informativa – dell'individuo e di diritto all'identità personale⁶⁷. Come è stato acutamente osservato “The digital twin causes a ‘derealization’ of human experiences. The digitization and pixelization of the person disrupts our traditional conception of the person, which is no longer defined by his or her civil status but by the correlation of his or her data. So where does the virtual begin and where does the person stop?”⁶⁸.

Sebbene l'ipotesi di *Digital Twin* individuale lasci emergere maggiori preoccupazioni, ciò non

58. TELLER 2021.

59. Esistono infatti altre dimensioni giuridiche rilevanti con riguardo al gemello digitale, non riferite al diritto dei dati, come, ad esempio, quella relativa alle questioni di proprietà intellettuale o alla responsabilità giuridica di chi progetta, realizza e utilizza questa tecnologia, senza dimenticare quelle relative alla applicazione della normativa in materia di intelligenza artificiale. Per una breve elencazione delle problematiche giuridiche si veda, BUNDIN–MARTYNOV–SHIREEVA 2022, p. 77 ss.

60. DELLA MORTE 2018, p. 135.

61. TORREGIANI 2024, pp. 240-241.

62. GARSKE–HOLZ–EKARDT 2024.

63. IANNUZZI 2021, p. 39.

64. Per un approfondimento sul tema, si rinvia a STREINZ 2021, p. 902 ss.

65. GARSKE–HOLZ–EKARDT 2024.

66. ALLEGRI 2018, pp. 75-80; POLLICINO–BASSINI 2017, p. 132 ss.; ADAM 2000, p. 881 ss.

67. IANNUZZI 2024-B, p. 35 ss.

68. TELLER 2021, p. 5.

significa che il trattamento delle informazioni di carattere personale effettuato nell'ambito di altre tipologie di gemello digitale (non focalizzate sul singolo essere umano) desti minori problemi. I sistemi di IoT incorporati nel gemello ricorrono a dispositivi dotati di sensori capaci di raccogliere un'enorme quantità di informazioni di carattere sensibile e dettagliato sulle persone (localizzazioni, immagini, colloqui, parametri fisici), conducendo a un aumento esponenziale della quantità, nonché della qualità, dei dati relativi a ognuno di noi⁶⁹.

In tal senso, anche i "Gemelli Digitali Urbani", ossia quelli volti a replicare dinamicamente una intera città, non possono prescindere dalla raccolta di miriadi di dati personali dei cittadini e degli utenti che compongono il tessuto sociale e fruiscono dei servizi pubblici: la costante osservazione dei processi dinamici che interessano la città implica un trattamento su larga scala di dati, da un lato, direttamente personali e, dall'altro, di carattere non personale ma che, attraverso l'analisi incrociata, possono consentire di ricavare informazioni riguardanti persone fisiche identificabili⁷⁰. Il trattamento di tali informazioni deve obbligatoriamente essere condotto nel più rigoroso rispetto della normativa europea e nazionale in materia affinché i Gemelli Digitali Urbani siano impiegati per la creazione di smart cities efficienti e non per attuare forme di sorveglianza non democratica o per lo sfruttamento a fini commerciali⁷¹.

Tuttavia, la immanente complessità del *Digital Twin* rende il raggiungimento dell'anzidetta conformità normativa un traguardo tutt'altro che semplice: le soluzioni che si sono rivelate adeguate per le singole tecnologie isolatamente considerate, potrebbero non risultare adatte a garantire la

conformità normativa in un contesto integrato e complesso come il *Digital Twin*⁷².

Un'altra questione inerente al profilo relativo alla protezione, invero, non solo dei dati, ma anche delle reti e del sistema nel suo complesso, riguarda la cybersicurezza del gemello digitale. Le grandi capacità e potenzialità che connotano il *Digital Twin* lo espongono a un significativo "rischio digitale"⁷³. La maggiore distribuzione e la conseguente "dispersione" dello strumentario che lo compone, unite alla sua elevata interconnessione, portano inevitabilmente a un incremento della vulnerabilità del sistema⁷⁴.

Oltretutto, man mano che i *Digital Twin* otterranno maggiore impiego e diffusione, è destinato ad aumentare anche l'interesse di coloro che vorrebbero utilizzarlo per finalità malevole e destabilizzanti: se solo si pensa agli effetti causati dalla manipolazione dei *new media* digitali⁷⁵, risulta preoccupante pensare a quali conseguenze devastanti potrebbero derivare dal deprecabile accesso non autorizzato al flusso di dati che alimentano il gemello digitale.

In questo senso, dalla grande potenza del gemello digitale discende, in un certo qual modo, anche la sua più grande fragilità: la concatenazione e la profonda integrazione dei suoi elementi costituenti fanno sì che la vulnerabilità di una singola parte possa ripercuotersi sull'intero sistema, compromettendone la sicurezza e la funzionalità⁷⁶.

Pertanto, per disinnescare tali rischi e assicurare altresì la compliance normativa anche in materia di cybersecurity⁷⁷, appare indispensabile equipaggiare il *Digital Twin* con misure tecniche e organizzative idonee – come, ad esempio, algoritmi di crittografia adeguati, sistemi di archiviazione sicura dei dati, gestione e supervisione degli accessi – tenendo sempre in debita considerazione le debolezze (nell'epoca attuale ancora ineliminabili) connaturate al sistema⁷⁸.

69. ATLAM–WILLS 2020, p. 123 ss.

70. Sia consentito in proposito rinviare a TORREGIANI 2020, p. 317 ss.

71. PAGNANELLI 2023, p. 188 ss.

72. ATLAM–ALENEZI–WALTERS–WILLS 2017, p. 254 ss.

73. LONGO, 2024-A, p. 53 ss.

74. KAUR–MISHRA–MAHESHWARI 2020, pp. 12-13.

75. COSSIRI 2023, p. 77 ss.

76. ATLAM–WILLS 2020, p. 123 ss.

77. LONGO 2024-B.

78. Eloquenti in tal senso, ATLAM–WILLS 2020, nella parte in cui sottolineano che "most IoT devices have limited processing and storage capabilities, due to small and lightweight features which make them run on lower energy."

Gli aspetti relativi alla protezione e alla sicurezza fin qui illustrati si trovano spesso in tensione con altre questioni giuridiche rilevanti per il gemello digitale. Si tratta di profili pur sempre riconducibili all'ambito della data governance, ma che non si riferiscono *stricto sensu* alla salvaguardia dei dati o dell'infrastruttura del *Digital Twin*. Essi riguardano piuttosto quei fattori che ne condizionano l'efficacia, l'efficienza e la diffusione su larga scala.

Come più volte ribadito, l'operatività del gemello digitale si basa essenzialmente sui dati, i quali devono fluire in maniera costante e in misura massiva da una vasta gamma di fonti interconnesse al medesimo *network*. Detto altrimenti, tale tecnologia dipende fortemente dalla circolazione delle informazioni: la rappresentazione dinamica e in costante aggiornamento dell'asset fisico, la *big data analytics*, l'addestramento dei sistemi di intelligenza artificiale, e ogni altra funzione latamente correlabile ai gemelli digitali, non sarebbero attuabili senza un adeguato flusso di dati in entrata e in uscita dal sistema⁷⁹.

Senza dimenticare che, al fine di migliorare le capacità predittive, il *Digital Twin* si nutre non solo dei dati *real-time* raccolti dai dispositivi e dai sensori, ma anche dei dati *offline* di carattere storico,

relativi, ad esempio, alle precedenti operazioni di manutenzione o al consumo energetico. Queste informazioni possono non fare parte del *network* di riferimento, ma trovarsi in database altrui.

Al riguardo, è bene notare che buona parte dei dati necessari alla realizzazione dei gemelli digitali esistono già e non richiedono una ulteriore raccolta⁸⁰. Si pensi allo "Spazio europeo dei dati sanitari" (*European Health Data Space*) per i gemelli digitali individuali in materia sanitaria⁸¹, alla Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire) per la condivisione in ambito europeo delle informazioni territoriali e ambientali per gli *Urban Digital Twins*⁸², oppure ai dati raccolti e prodotti da altri gemelli digitali o altri mezzi ICTs: queste banche dati racchiudono tutte informazioni che possono incrementare notevolmente le capacità e il successo di questa tecnologia.

Il fatto che molti dei dati presenti in tali raccolte, detenute da enti pubblici o da soggetti privati, non siano liberamente disponibili induce a interrogarsi anche in merito al tema dell'accessibilità alle informazioni funzionali alla creazione del *Digital Twin*⁸³. Sebbene le recenti riforme del diritto dei dati europeo abbiano segnato importanti passi in avanti in questo ambito⁸⁴, nel caso di un sistema

Therefore, sophisticated security algorithms are not suitable for these constrained devices as they are not able to execute complex processing operations in real time. Instead, constrained devices typically only employ fast, lightweight encryption algorithms", così a p. 136.

79. Comunicazione della Commissione, *Verso una florida economia basata sui dati*, doc. COM(2014) 442, spec. pp. 12-13, ove la Commissione ha evidenziato che i requisiti in materia di ubicazione dei dati ostacolano la libera circolazione delle informazioni e producono un effetto frenante nei confronti dello sviluppo del *cloud computing* e dei *big data*.

80. Garske-Holz-Ekardt 2024, pp. 9-11.

81. Il riferimento è al Regolamento (UE) 2025/327 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 febbraio 2025, sullo spazio europeo dei dati sanitari e che modifica la direttiva 2011/24/UE e il regolamento (UE) 2024/2847, con cui l'Unione europea istituisce lo spazio europeo dei dati sanitari (*European Health Data Space* – EHDS) prevedendo disposizioni, norme e infrastrutture comuni e un quadro di governance al fine di facilitare l'accesso ai dati sanitari elettronici per l'uso primario dei dati sanitari elettronici e l'uso secondario di tali dati.

82. Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 marzo 2007, che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire). Si tratta di una infrastruttura utile a raggiungere gli scopi delle politiche ambientali europee e delle politiche o delle attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente.

83. Emergono in tali ipotesi le questioni sempre attuali relative alla sussistenza di un eventuale diritto di proprietà dei dati. Sul punto, si vedano DREXL 2016-A; DREXL 2016-B; WIEBE 2016; ZECH 2016.

84. Ci si riferisce, in particolare, al Regolamento (UE) 2022/868 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2022 relativo alla governance europea dei dati e che modifica il regolamento (UE) 2018/1724 (*Data Governance Act*) e al Regolamento (UE) 2023/2854 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 dicembre 2023,

come il gemello digitale – la cui accuratezza cresce al crescere della mole di dati utilizzati – tale questione deve essere esaminata in una prospettiva differente, anche valutando l'opportunità di introdurre obblighi di messa a disposizione o diritti di accesso alle informazioni necessarie.

Peraltro, risultano legate all'incentivazione della circolazione anche le problematiche legate alla scarsa interoperabilità dei dati e dei sistemi a supporto del gemello digitale.

Con "interoperabilità" si indica, generalmente, la capacità di un sistema, prodotto o servizio di comunicare e funzionare con altri sistemi, prodotti o servizi tecnicamente diversi, nonché, con particolare riferimento al mondo dell'informazione digitale, alla capacità di trasferire e mettere a disposizione i dati attraverso differenti sistemi e applicazioni⁸⁵. È evidente che per una tecnologia caratterizzata dalla eterogeneità delle fonti di alimentazione e degli strumenti – cui solitamente è connessa anche una pluralità di fornitori delle singole componenti tecnologiche – quello dell'interoperabilità costituisce un tema centrale, o addirittura, secondo alcuni il "digital twins' biggest issue"⁸⁶.

Effettivamente, la propagazione del fenomeno dei gemelli digitali dipende fortemente dalla interoperabilità dei sistemi. Per tale ragione, da più

parti viene richiesta la creazione di un quadro di standard condivisi che funga da base tecnico-normativa solida per lo sviluppo di sistemi capaci di comunicare vicendevolmente⁸⁷. Infatti, malgrado i primi importanti progetti di *digital twinning* in ambito pubblico comincino a trovare applicazione anche in territorio continentale, non si è ancora giunti a un insieme di norme comuni e, soprattutto, intersettoriali, in grado di rendere meno farraginoso il flusso dei dati tra i diversi attori coinvolti nella catena di trattamento delle informazioni⁸⁸.

In conclusione, la corretta identificazione delle questioni giuridiche di maggiore rilievo appare fondamentale per comprendere fino in fondo quanto il *data law* europeo sia funzionale alla realizzazione di gemelli digitali "constitutionally oriented". Difatti, sebbene nell'attuale panorama unionale non esistano provvedimenti normativi aventi come oggetto specifico ed esclusivo della propria regolazione il gemello digitale⁸⁹, è indubbio che la aggrovigliata trama ordinamentale correntemente in vigore influenza già pesantemente lo sviluppo e la diffusione del *Digital Twin*⁹⁰: ognuna delle singole tecnologie che compongono il gemello digitale, nonché la tipologia di dati che vengono trasmessi per il loro tramite, potrebbe infatti rientrare nell'ambito di applicazione di uno fra gli svariati regolamenti e direttive europei oggi vigenti⁹¹.

riguardante norme armonizzate sull'accesso equo ai dati e sul loro utilizzo e che modifica il regolamento (UE) 2017/2394 e la direttiva (UE) 2020/1828 (Data Act). Per un approfondimento su quest'ultimo provvedimento normativo, sia consentito rinviare a TORREGIANI 2023, p. 131 ss.

85. KERBER-SCHWEITZER 2017, p. 39 ss.

86. BOSTWICK 2023, p. 465.

87. *Ivi*, p. 440 ss.

88. RATHORE-SHAH-SHUKLA et al. 2021.

89. TELLER 2021.

90. SAPIENZA-PALMIRANI-GRECO 2024, p. 184 ss.

91. Tra gli atti normativi che, al momento, rilevano da questo punto di vista figurano sicuramente i seguenti: Direttiva 96/9/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 marzo 1996, relativa alla tutela giuridica delle banche di dati (Database Directive); Direttiva 2002/58/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 12 luglio 2002, relativa al trattamento dei dati personali e alla tutela della vita privata nel settore delle comunicazioni elettroniche (Direttiva ePrivacy); Regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 aprile 2016, relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati e che abroga la Direttiva 95/46/CE (GDPR); Regolamento (UE) 2018/1807 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 novembre 2018, relativo a un quadro applicabile alla libera circolazione dei dati non personali nell'Unione europea (Regolamento sui dati non personali); Regolamento (UE) 2019/881 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 aprile 2019, relativo all'ENISA, l'Agenzia dell'Unione europea per la cibersicurezza, e alla certificazione della cibersicurezza per le tecnologie

Solo in esito a siffatta analisi giuridica sarà possibile valutare, con cognizione di causa, le opportunità di un intervento settoriale da parte delle istituzioni europee orientato a regolamentare precipuamente il gemello digitale⁹², nella piena consapevolezza delle difficoltà connesse all'inserimento di un ulteriore provvedimento normativo all'interno del già affollato mosaico regolamentare della società digitale⁹³.

5. Osservazioni conclusive: quali prospettive di regolazione?

I gemelli digitali rappresentano uno strumento destinato ad assumere una importanza capitale nella nostra società. Le previsioni di crescita per il mercato dei *Digital Twin* sono particolarmente promettenti, con alcuni studi che prospettano una dimensione economica pari a 106,26 miliardi di dollari nel 2028⁹⁴.

Il sostegno di un ambiente virtuale in tutto e per tutto corrispondente a quello reale, se plasmato correttamente, non può che impattare positivamente sul benessere della collettività e degli individui: la possibilità di avere a disposizione un "banco di prova digitale", che permette di testare

eventuali alterazioni del sistema e di prevederne gli effetti, consentirebbe di trovare la soluzione più idonea a ogni problema in tempi ridotti e, soprattutto, con rischi contenuti.

Di fronte alla complessità e alle potenzialità di un fenomeno che si inserisce nel solco di quella rivoluzione tecnologica che sta stravolgendo la nostra epoca⁹⁵, sembra opportuno avviare una profonda riflessione finalizzata a indagare quale ruolo può avere il diritto nell'orientarne lo sviluppo nella direzione di una tecnologia che sia rispettosa dei diritti individuali e funzionale alla prosperità della società intera⁹⁶.

In proposito, si registra una certa propensione alla esplorazione di soluzioni regolatorie del gemello digitale da parte degli attori interessati, con i primi tentativi di normazione tecnico-giuridica sviluppati autonomamente da alcune istituzioni o, addirittura, dagli stessi operatori del settore che preferiscono muoversi in un contesto maggiormente chiaro e definito.

Fra gli indicatori di questa tendenza, degni di nota sono sicuramente i *Gemini Principles* elaborati nell'ambito di una partnership, avviata dal governo britannico, tra il *Department for Business*,

dell'informazione e della comunicazione, e che abroga il regolamento (UE) n. 526/2013 (Cybersecurity Act); Direttiva (UE) 2019/1024 del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 giugno 2019 relativa all'apertura dei dati e al riutilizzo dell'informazione del settore pubblico (Direttiva Open Data); Regolamento (UE) 2022/868 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2022 relativo alla governance europea dei dati e che modifica il regolamento (UE) 2018/1724 (Data Governance Act); Direttiva (UE) 2022/2555 del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 dicembre 2022 relativa a misure per un livello comune elevato di cibersecurity nell'Unione, recante modifica del regolamento (UE) n. 910/2014 e della direttiva (UE) 2018/1972 e che abroga la direttiva (UE) 2016/1148 (Direttiva NIS 2); Regolamento (UE) 2023/2854 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 dicembre 2023, riguardante norme armonizzate sull'accesso equo ai dati e sul loro utilizzo e che modifica il regolamento (UE) 2017/2394 e la direttiva (UE) 2020/1828 (Data Act); Regolamento (UE) 2024/903 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 marzo 2024, che stabilisce misure per un livello elevato di interoperabilità del settore pubblico nell'Unione (Regolamento su un'Europa interoperabile); Regolamento (UE) 2024/1689 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 giugno 2024, che stabilisce regole armonizzate sull'intelligenza artificiale e modifica i regolamenti (CE) n. 300/2008, (UE) n. 167/2013, (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 e (UE) 2019/2144 e le direttive 2014/90/UE, (UE) 2016/797 e (UE) 2020/1828 (AI Act); Regolamento (UE) 2024/2847 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2024, relativo a requisiti orizzontali di cibersecurity per i prodotti con elementi digitali e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013 e (UE) 2019/1020 e la direttiva (UE) 2020/1828 (Cyber Resilience Act).

92. SUFFIA 2023.

93. IANNUZZI 2024-A, p. 9 ss.

94. BOSTWICK 2023, pp. 463-464.

95. SIMONCINI 2019, p. 63 ss.

96. SIMONCINI 2023.

Energy & Industrial Strategy e l'Università di Cambridge, denominata *Centre for Digital Built Britain* (CDBB), con l'obiettivo di gestire, fra gli altri, il programma governativo *National Digital Twin Programme*⁹⁷.

In tale contesto, è stato elaborato un complesso di principi funzionali a supportare lo sviluppo di un gemello digitale di dimensione nazionale, inteso non come unico (macro)gemello digitale, ma, all'opposto, come insieme di gemelli digitali "federati" uniti tramite la condivisione sicura dei dati⁹⁸.

I nove principi enucleati dal CDBB sono suddivisi in tre grandi categorie, indicate come *Purpose*, *Trust* e *Function*.

Nella prima rientrano tre principi: quello di *Public good*, secondo cui il gemello deve sempre mantenere come fine ultimo il raggiungimento del bene pubblico e il soddisfacimento delle esigenze degli utenti; il principio di *Value creation*, relativo al valore che il gemello deve creare, promuovendo innovazione e concorrenza; e quello di *Insight*, che indirizza la tecnologia verso la generazione di elementi utili ad adottare decisioni migliori.

Nella seconda categoria figurano i principi di *Security*, secondo cui il *Twin* deve garantire la sicurezza, sia fisica che digitale, del sistema, sulla base di un approccio fondato sul rischio; quello di *Openness*, in linea con l'idea di un gemello più "aperto" possibile, ossia fondato su dati aperti, standard aperti e modelli *open source* collaborativi; e, per terzo, il principio di *Quality*, a mente del quale il *Twin* deve essere realizzato con dati di qualità appropriata per lo scopo previsto.

Nell'ultima categoria sono inclusi i principi di *Federation*, che si riferisce, come accennato in precedenza, alla condivisione di dati per abilitare la federazione di diversi gemelli digitali, consentita soprattutto per mezzo di una adeguata interoperabilità; quello di *Curation*, funzionale a stabilire le responsabilità delle diverse parti coinvolte, chiarendo le questioni relative alla *data ownership*; e, da ultimo, quello di *Evolution*, attraverso cui garantire l'adattabilità del gemello digitale ai cambiamenti della tecnologia, della società e dell'ambiente⁹⁹.

Malgrado si tratti di statuizioni, per l'appunto, di principio e dunque prive del carattere prescrittivo tipico delle norme giuridiche vincolanti, esse si pongono come prima linea guida utile a tracciare la rotta per un approccio trasversale che poi permetterà di affrontare con maggiore chiarezza ognuna delle singole questioni giuridiche che possono emergere in tale settore¹⁰⁰.

Proprio in risposta alla esigenza di standardizzazione manifestata dagli operatori e dalla dottrina, anche la *International Organization for Standardization* (ISO) ha elaborato alcune norme di carattere tecnico volte ad agevolare l'attività delle imprese interessate allo sviluppo di progetti relativi ai gemelli digitali. Nello specifico, la ISO, assieme alla *International Electrotechnical Commission* (IEC), ha costituito un sottocomitato nell'ambito del *Joint Technical Committee 1*, (nominato ISO/IEC JTC 1/SC 41) che si occupa, in particolare, del tema *Digital Twin*. Fra il materiale di maggiore rilevanza elaborato in ambito ISO e riguardante i gemelli digitali figurano: la ISO/IEC 30194:2024 (*Internet of things (IoT) and digital twin - Best practices for use case projects*) che illustra le migliori pratiche per chi intende sviluppare progetti di *Digital Twin*; la ISO/IEC 20924:2024 (*Internet of Things (IoT) and digital twin - Vocabulary*) e la ISO/IEC 30173:2023 (*Digital twin - Concepts and terminology*) che chiariscono alcuni aspetti terminologici di tale tecnologia; il rapporto tecnico ISO/IEC TR 30172:2023 (*Internet of things (IoT) - Digital twin - Use cases*) contenente una raccolta di *use cases* relativi ad applicazioni di gemelli digitali in diversi ambiti; e le ISO 23247 (1:2021, 2:2021, 3:2021, 4:2021), dedicate alla individuazione di standard comuni nel settore manifatturiero.

Una ulteriore iniziativa specificamente dedicata alla promozione di standard e finalizzata ad accelerare l'innovazione in ambito *Digital Twin* risponde al nome di "*Digital Twin Consortium*". Si tratta di una organizzazione che coadiuva industria, governo e mondo accademico per incentivare l'uniformità terminologica e lo sviluppo nell'architettura,

97. Per un approfondimento, si rinvia al sito internet del CDBB.

98. BOLTON-BUTLER-DABSON et al. 2018.

99. *Ibidem*.

100. ASLI 2022.

nella sicurezza e nell'interoperabilità della tecnologia dei gemelli digitali in vari settori¹⁰¹.

Fra i documenti prodotti dal *Digital Twin Consortium* assume particolarmente rilevanza il *Digital Twin System Interoperability Framework* che ha l'obiettivo di fornire un quadro di riferimento per l'interoperabilità di sistemi eterogenei integrati nei gemelli digitali¹⁰². Il *Framework* ricorre a sette diversi concetti chiave al fine di predisporre un meccanismo di interoperabilità comune in grado di adattarsi a varie tipologie di *Digital Twin*¹⁰³.

Le iniziative regolatorie del gemello digitale testé illustrate lasciano trasparire una crescente esigenza di disciplina della materia che, con la diffusione del fenomeno, è destinata a intensificarsi fino a fuoriuscire dal ristretto ambito della normazione tecnica. Con ogni probabilità, quando il gemello digitale arriverà a incidere in modo significativo sui diritti e sugli interessi di ampie fasce della collettività, il bisogno di regolazione si manifesterà in

maniera ancora più compiuta, tanto sul piano istituzionale quanto su quello sociale.

Del resto, ogniquale volta una nuova tecnologia dotata di potenzialità dirompenti si affaccia all'orizzonte, riemerge un interrogativo di natura squisitamente costituzionalistica: come garantire che questi strumenti "non prendano il sopravvento sui diritti fondamentali della persona, sul buon funzionamento della democrazia e sulla libertà dei mercati?"¹⁰⁴.

Nel caso del gemello digitale, tuttavia, il ruolo del diritto non dovrebbe esaurirsi in una funzione meramente limitativa o difensiva, focalizzata sul solo contenimento dei rischi. Le significative potenzialità benefiche di tale strumento richiedono infatti un diritto "proattivo", capace di guidarne lo sviluppo verso l'obiettivo del benessere individuale e collettivo, ricercando il giusto punto di equilibrio tra la protezione (delle persone e della società) e le esigenze dell'innovazione tecnologica.

Riferimenti bibliografici

- R. ADAM (2000), *Da Colonia a Nizza: la Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea*, in "Il Diritto dell'Unione Europea", 2000, n. 4
- M.R. ALLEGRI (2018), *Ubi Social, Ibi Ius. Fondamenti costituzionali dei social network e profili giuridici della responsabilità dei provider*, FrancoAngeli, 2018
- A. ASLI (2022), *A High-Tech Crystal Ball: The Digital Twin of a Ship and Data Issues in EU Law*, in "Lloyd's Shipping and Trade Law", 2022
- H. ATLAM, A. ALENEZI, R. WALTERS, G. WILLS (2017), *An overview of risk estimation techniques in risk-based access control for the internet of things*, in "Proceedings of the 2nd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security (IoTBDs 2017)", 2017
- H. ATLAM, G. WILLS (2020), *IoT Security, Privacy, Safety and Ethics*, in M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseini-Far, H. Jahankhani (eds.), "Digital Twin Technologies and Smart Cities", Springer, 2020
- M. ATTARAN, B. CELIK (2023), *Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities*, in "Decision Analytics Journal", vol. 6, 2023
- B.R. BARRICELLI, E. CASIRAGHI, D. FOGLI (2019), *A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications*, in "IEEE Access", vol. 7, 2019

101. Per un approfondimento, si rinvia al sito internet del Digital Twin Consortium.

102. BUDIARDJO-MIGLIORI 2021.

103. BOSTWICK 2023, pp. 468-469. In particolare, i concetti chiave sono i seguenti: *System-Centric Design, Model-Based Approach, Holistic Information Flow, State-Based Interactions, Federated Repositories, Actionable Information, Scalable Mechanisms*.

104. CHELI 2021, p. 954.

- A. BOLTON, L. BUTLER, I. DABSON, M. ENZER, M. EVANS, T. FENEMORE, F. HARRADENCE, E. KEANEY, A. KEMP, A. LUCK, N. PAWSEY, S. SAVILLE, J. SCHOOLING, M. SHARP, T. SMITH, J. TENNISON, J. WHYTE, A. WILSON, C. MAKRI (2018), *The Gemini Principles*, in “CDBB Publications”, 2018
- V. BONCINELLI (2021), *Modelli tecnici e disciplina giuridica del c.d. cloud computing*, in “Rivista italiana di informatica e diritto”, 2021, n. 1
- B. BOSTWICK (2023), *Lagging Legislation: The Use of Digital Twins Calls by Manufacturers Calls for New Legal Regulations*, in “Journal of High Technology Law”, vol. 23, 2023, n. 2
- H. BOYES, B. HALLAQ, J. CUNNINGHAM, T. WATSON (2018), *The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework*, in “Computers in Industry”, vol. 101, 2018
- A. BUDIARDJO, D. MIGLIORI (2021), *Digital Twin System Interoperability Framework*, A Digital Twin Consortium White Paper, 2021
- M. BUNDIN, A. MARTYNOV, E. SHIREEVA (2022), *Legal Issues on the Use of “Digital Twin” Technologies for Smart Cities*, in A.V. Chugunov, M. Janssen, I. Khodachek, Y. Misnikov, D. Trutnev (eds.), “Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia, EGOSE 2021”, Springer, 2022
- C. BUZZACCHI (2016), *Tecnologia e protezione dei dati personali nella società dei big data. Problemi di profilazione e di garanzia della sicurezza pubblica*, in F. Pizzolato, P. Costa (a cura di), “Sicurezza e tecnologia”, Giuffrè, 2016
- S. CALZOLAIO (2023-A), *Isolamento e relazioni sociali. Il Connection-in-All-Policies approach. Nota a: U.S. Surgeon General, Our Epidemic of Loneliness and Isolation: The U.S. Surgeon General’s Advisory on the Healing Effects of Social Connection and Community*, 2023, in “Rivista italiana di informatica e diritto”, 2023, n. 2
- S. CALZOLAIO (2023-B), *Social media e minori. Il Safety-first approach. Nota a: U.S. Surgeon General, Social Media and Youth Mental Health. The U.S. Surgeon General’s Advisory*, 2023, in “Rivista italiana di informatica e diritto”, 2023, n. 2
- S. CALZOLAIO (2017), *Protezione dei dati personali*, in R. Bifulco, A. Celotto, M. Olivetti (a cura di), “Digesto delle Discipline Pubblicistiche”, Utet Giuridica, 2017
- E. CHELI (2021), *Conclusioni*, in “Osservatorio sulle fonti”, 2021, n. 2
- A. COSSIRI (2023), *Le campagne di disinformazione nell’arsenale di guerra: strumenti giuridici per contrastare la minaccia alla prova del bilanciamento*, in “Rivista italiana di informatica e diritto”, 2023, n. 2
- C. COSTANZI (2020), *The Legal Implications of Building Information Modeling (BIM) in Public Procurement Law. An Italian Perspective*, in “Rivista Giuridica AmbienteDiritto.it”, vol. 3, 2020
- G. DELLA MORTE (2018), *Big Data e Protezione Internazionale Dei Diritti Umani. Regole e Conflitti*, in M. Arcari, E. Milano, A. Tanzi (a cura di), “La ricerca del diritto nella comunità internazionale”, Editoriale Scientifica, 2018
- B. DORSEMAINE, J-P. GAULIER, J-P. WARY, N. KHEIR, P. URIEN (2015), *Internet of Things: a defnition and taxonomy*, Conference Paper: The 9th international conference on next generation mobile applications, services and technologies, 2015
- J. DREXL (2016-A), *Data Ownership and Access to Data*, Position Statement of the Max Planck Institute for Innovation and Competition of 16 August 2016 on the Current European Debate (documento redatto da J. Drexel, R.M. Hilty, L. Desautettes, F. Greiner, D. Kim, H. Richter, G. Surblytè, K. Wiedemann), 2016
- J. DREXL (2016-B), *Designing Competitive Markets for Industrial Data – Between Propertisation and Access*, in “Max Planck Institute for Innovation & Competition”, Research Paper No. 16-13, 2016

- A. FULLER, Z. FAN, C. DAY, C. BARLOW (2020), *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*, in "IEEE Access", 2020
- A. GANDOMI, M. HAIDER (2015), *Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics*, in "International Journal of Information Management", vol. 35, 2015
- B. GARSKE, W. HOLZ, F. EKARDT (2024), *Digital twins in sustainable transition: exploring the role of EU data governance*, in "Frontiers in Research Metrics and Analytics", vol. 9, 2024
- E.H. GLAESSGEN, D.S. STARGEL (2013), *The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles*, in "Proceedings of the 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference (Honolulu, HI, USA, 23–26 April 2012)", 2013
- M. GRIEVES (2014), *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, Whitepaper, 2014
- M. GRIEVES (2005), *Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises*, in "International Journal of Product Development", vol. 2, 2005, n. 1-2
- M. GRIEVES, J. VICKERS (2017), *Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems*, in "Transdisciplinary perspectives on complex systems", Springer, 2017
- A. IANNUZZI (2024-A), *Le fonti del diritto dell'Unione europea per la disciplina della società digitale*, in S. Calzolaio, A. Iannuzzi, E. Longo, M. Orofino, F. Pizzetti, "La regolazione europea della società digitale", Giappichelli, 2024
- A. IANNUZZI (2024-B), *Metaverso, Digital Twins e diritti fondamentali*, in "Rivista italiana di informatica e diritto", 2024, n. 2
- A. IANNUZZI (2021), *La governance europea dei dati nella contesa per la sovranità digitale: un ponte verso la regolazione dell'intelligenza artificiale*, in "Studi parlamentari e di politica costituzionale", 2021, n. 209
- M.J. KAUR, V.P. MISHRA, P. MAHESHWARI (2020), *The Convergence of Digital Twin, IoT, and Machine Learning: Transforming Data into Action*, in M. Farsi, A. Daneshkhah, A. Hosseinian-Far, H. Jahan-khani (eds.), "Digital Twin Technologies and Smart Cities", Springer, 2020
- W. KERBER, H. SCHWEITZER (2017), *Interoperability in the Digital Economy*, in "Journal of Intellectual Property, Information Technology and Electronic Commerce Law", vol. 8, 2017, n. 1
- Z. LIU, N. MEYENDORF, N. MRAD (2018), *The role of data fusion in predictive maintenance using digital twin*, in "AIP Conference Proceedings", 2018
- E. LONGO (2024-A), *La disciplina del "rischio digitale"*, in S. Calzolaio, A. Iannuzzi, E. Longo, M. Orofino, F. Pizzetti, "La regolazione europea della società digitale", Giappichelli, 2024
- E. LONGO (2024-B), *La disciplina della cybersecurity nell'Unione europea e in Italia*, in S. Calzolaio, A. Iannuzzi, E. Longo, M. Orofino, F. Pizzetti, "La regolazione europea della società digitale", Giappichelli, 2024
- R. MORO VISCONTI (2016), *Internet delle cose, Networks e plusvalore della connettività*, in "Il diritto industriale", vol. 6, 2016
- V. PAGNANELLI (2023), *La smart city come ecosistema digitale. Profili di data governance*, in "dirittifondamentali.it", 2023, n. 2
- P. PALENSKY, M. CVETKOVIC, D. GUSAIN, A. JOSEPH (2022), *Digital twins and their use in future power systems*, in "Digital Twin", 2022
- O. POLLICINO, M. BASSINI (2017), *Commento all'art. 8*, in R. Mastroianni, O. Pollicino, S. Allegrezza, F. Pappalardo, O. Razzolini (a cura di), "Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea", 2017

- Q. QI, F. TAO (2018), *Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison*, in "IEEE Access", vol. 6, 2018
- M.M. RATHORE, S.A. SHAH, D. SHUKLA, E. BENTAFAT, S. BAKIRAS (2021), *The Role of AI, Machine Learning, and Big Data in Digital Twinning: A Systematic Literature Review, Challenges, and Opportunities*, in "IEEE Access", vol. 9, 2021
- S. SAPIENZA, M. PALMIRANI, S. GRECO (2024), *Data Sharing Governance in Digital Twins and Smart Cities: The European Data Strategy*, in A. Kö, G. Kotsis, A.M. Tjoa, I. Khalil (eds.), "Electronic Government and the Information Systems Perspective. EGOVIS 2024", Springer, 2024
- G.N. SCHROEDER, C. STEINMETZ, C.E. PEREIRA, D.B. ESPINDOLA (2016), *Digital twin data modeling with automation ML and a communication methodology for data exchange*, in IFAC-PapersOnLine 49, 2016
- C. SEMERARO, M. LEZOCHE, H. PANETTO, M. DASSISTI (2021), *Digital twin paradigm: A systematic literature review*, in "Computers in Industry", vol. 130, 2021
- Z. SHEN, F. ARRAÑO-VARGAS, G. KONSTANTINOU (2023), *Artificial intelligence and digital twins in power systems: Trends, synergies and opportunities*, in "Digital Twin", 2023
- A. SIMONCINI (2023), *Il linguaggio dell'intelligenza artificiale e la tutela costituzionale dei diritti*, in "Rivista Associazione Italiana Costituzionalisti", 2023
- A. SIMONCINI (2021), *Sistema delle fonti e nuove tecnologie. Le ragioni di una ricerca di diritto costituzionale, tra forma di stato e forma di governo*, in "Osservatorio sulle fonti", vol. 2, 2021
- A. SIMONCINI (2019), *L'algoritmo incostituzionale: intelligenza artificiale e il futuro delle libertà*, in "Bio-Law Journal – Rivista di BioDiritto", vol. 1, 2019
- A. SIMONCINI, E. LONGO (2021), *Fundamental Rights and the Rule of Law in the Algorithmic Society*, in H-W. Micklitz, O. Pollicino, A. Reichman, A. Simoncini, G. Sartor, G. De Gregorio (eds.), "Constitutional Challenges in the Algorithmic Society", Cambridge University Press, 2021
- A. SIMONCINI, S. SUWEIS (2019), *Il cambio di paradigma nell'intelligenza artificiale e il suo impatto sul diritto costituzionale*, in "Rivista di filosofia del diritto", 2019
- I. SPEZIALE, C. BASUNTI (2024), *Cooperative di dati e gemelli digitali urbani*, in F. Bravo (a cura di), "EU Data Cooperatives. L'ingresso delle cooperative di dati nell'ordinamento europeo", Giappichelli, 2024
- T. STREINZ (2021), *The Evolution of European Data Law*, in P. Craig, G. De Búrca (eds.), "The Evolution of EU Law", Oxford University Press, 2021
- G. SUFFIA (2023), *How to regulate a Digital Twin City? Insights from a Proactive Law approach: How "human in the loop" and "precautionary principles" can serve policymakers in their attempt to incorporate respect of rights and solidarity in the smart city*, in "24th Annual International Conference on Digital Government Research – Together in the unstable world: Digital government and solidarity", ACM, 2023
- F. TAO, M. ZHANG, Y. LIU, A.Y.C. NEE (2018), *Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment*, in "CIRP Annals", vol. 67, 2018, n. 1
- M. TELLER (2021), *Legal aspects related to digital twin*, in "Philosophical Transactions of the Royal Society A", vol. 379, 2021
- S. TORREGIANI (2024), *Intermediari di dati e cooperative di dati nell'ambito del Data Governance Act: verso un nuovo approccio nella gestione dei dati?*, in F. Bravo (a cura di), "EU Data Cooperatives. L'ingresso delle cooperative di dati nell'ordinamento europeo", Giappichelli, 2024
- S. TORREGIANI (2023), *Il Data Act: una versione europea del Data Nationalism?*, in "Rivista italiana di informatica e diritto", 2023, n. 2

- S. TORREGIANI (2020), *Il dato non personale alla luce del Regolamento (UE) 2018/1807: tra anonimizzazione, ownership e Data by Design*, in “federalismi.it”, 2020, n. 18
- E.J. TUEGEL, A.R. INGRAFFEA, T.J. EASON, S.M. SPOTTSWOOD (2011), *Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin*, in “International Journal of Aerospace Engineering”, 2011
- J. VAN DIJCK (2014), *Datafication, Dataism and Dataveillance: Big Data between Scientific Paradigm and Ideology*, in “Surveillance and Society”, vol. 12, 2014, n. 2
- A. WIEBE (2016), *Protection of industrial data – a new property right for the digital economy?*, in “Journal of Intellectual Property Law & Practice”, 2016
- M.M. WINKLER, J. MOSCA (2015), *Cloud computing e protezione dei dati personali*, in M. Fumagalli Mera-
viglia (a cura di), “Diritto alla riservatezza e progresso tecnologico. Coesistenza pacifica e scontro di
civiltà?”, Editoriale Scientifica, 2015
- H. ZECH (2016), *A legal framework for a data economy in the European Digital Single Market: rights to use
data*, in “Journal of Intellectual Property Law & Practice”, 2016
- V. ZENO-ZENCOVICH, G. GIANNONE CODIGLIONE (2016), *Ten Legal perspectives on the “Big data revolution”*,
in F. Di Porto (a cura di), “Concorrenza e Mercato, Numero speciale. Big Data e concorrenza”, 2016
- Y. ZHENG, S. YANG, H. CHENG (2019), *An application framework of digital twin and its case study*, in “Jour-
nal of Ambient Intelligence and Humanized Computing”, vol. 10, 2019, n. 3
- M.M. ZOLTICK, J.B. MAISEL (2023), *Societal Impacts: Legal, Regulatory and Ethical Considerations for the
Digital Twin*, in N. Crespi, A.T. Drobot, R. Minerva (eds.), “The Digital Twin”, Springer, 2023