



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI SALERNO



DIPARTIMENTO
DI SCIENZE AZIENDALI
MANAGEMENT
& INNOVATION SYSTEMS

Ph.D in BIG DATA MANAGEMENT

XXXIV Ciclo

Tesi di Dottorato

L'USO DEI BIG DATA NEL SISTEMA INFRASTRUTTURALE ITALIANO.
DEFINIZIONE DI UN MODELLO PER MIGLIORARNE LA SICUREZZA E LA QUALITÀ

DOTTORANDO:

Donato Liguori

TUTOR

Prof. Marco Pellicano

COORDINATORE

Prof. Valerio Antonelli

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

Introduzione	IX
CAPITOLO 1 - OBIETTIVI, SCOPO, METODOLOGIA E CONTESTO DELLA RICERCA	
1.1. Dai problemi di ricerca alle domande di ricerca	1
1.2. Disegno della ricerca e metodologia	10
1.2.1. <i>Systematic Literature Review (SLR)</i>	16
1.3. Il contesto della ricerca: il patrimonio infrastrutturale italiano	23
1.3.1. <i>Il Sistema viario nazionale</i>	23
1.3.2. <i>La rete viaria di interesse nazionale ANAS</i>	25
1.3.3. <i>La rete autostradale in concessione</i>	26
1.3.4. <i>Le opere d'arte infrastrutturali italiane</i>	29
CAPITOLO 2 – THEORETICAL BACKGROUND & FRAMEWORK	
2.1. <i>Theoretical background</i>	31
2.2. <i>Big Data & Analytics</i>	32
2.2.1. <i>Caratteristiche e definizioni dei Big Data</i>	34
2.2.2. <i>Blockchain</i>	40
2.3. <i>Knowledge Management</i>	43
2.3.1. <i>Processi e fasi del Knowledge Management</i>	46
2.3.2. <i>La misurazione delle prestazioni del Knowledge Management</i>	47
2.4. <i>Risk Management</i>	49
2.5. <i>Service Quality</i>	59
2.6. <i>Theoretical framework</i>	63
CAPITOLO 3 – MULTIPLE CASE STUDY: AINOP E ARGO	
3.1. Introduzione metodologica	67
3.1.1. <i>Scelta dei casi di studio</i>	68
3.2. Archivio Informativo Opere Pubbliche (AINOP)	68
3.2.1. <i>Sistema di monitoraggio dinamico</i>	88
3.2.2. <i>Linee guida per rischio, sicurezza e monitoraggio dei ponti esistenti</i>	90
3.3. Progetto ARGO	92

3.3.1. <i>Digital Inventory</i>	95
3.3.2. <i>Inspection Process</i>	98
3.3.3. <i>Attività innovative: Digital Twin</i>	101
3.3.4. <i>Attività innovative: monitoraggio strutturale</i>	102
3.3.5. <i>AINOP e ARGO</i>	103
CAPITOLO 4 - CONCLUSIONI	105
Bibliografia	113
INDICE TABELLE	
Tab. 1 – Stime dell’impatto delle infrastrutture sul P.I.L.	3
Tab. 2 – Letteratura sull’impatto macroeconomico delle infrastrutture (1973-2010)	4
Tab. 3 – I <i>six tips</i> per una corretta (<i>systematic</i>) <i>literature review</i>	15
Tab. 4 – <i>Follow-up</i> SLR n=64	18
Tab. 5 – Estensione stradale italiana anni 1990, 2000, 2010, 2014-2019	24
Tab. 6 – Rete viaria di interesse nazionale (gestione ANAS)	26
Tab. 7 – Concessioni rete stradale e autostradale	27
Tab. 8 – Rete autostradale italiana (incluse gallerie con L>100m; Ponti e viadotti con L>100m e trafori internazionali)	28
Tab. 9 – Società miste pubbliche ANAS e concessioni regionali	28
Tab. 10 – Tabella base di RM	58
Tab. 11 – Profilazione utenti e accesso	82
Tab. 12 – Elenco delle parti d’opera e delle componenti	96
Tab. 13 – Applicazione dei difetti in <i>Maximo</i>	100
INDICE FIGURE	
Fig. 1 – Approccio sistemico alla ricerca	11
Fig. 2 – Il sistema viario nazionale	25
Fig. 3 – Rete stradale Anas	25
Fig. 4 – Rete di Autostrade per l’Italia	29

Fig. 5 – Il modello DIKW	48
Fig. 6 – <i>Risk Management Process</i>	55
Fig. 7 – Tipologie di Rischi	58
Fig. 8 – Le cinque dimensioni della <i>Service Quality</i>	62
Fig. 9 – <i>Theoretical framework</i>	65
Fig. 10 – Archivio informatico delle Opere Pubbliche (AINOP)	70
Fig. 11 – Esempi di IOP	72
Fig. 12 – Struttura delle anagrafiche	72
Fig. 13 – Tracciato <i>record</i> anagrafica di base	73
Fig. 14 – Scheda anagrafica	74
Fig. 15 – Scheda dati tecnici	75
Fig. 16 – Scheda di dettaglio gara/progetto/variante	75
Fig. 17 – Dati economico – finanziari	76
Fig. 18 – Dati monitoraggio tecnico	77
Fig. 19 – Scheda manutenzioni con dettaglio ispezioni	78
Fig. 20 – Lavori in corso	79
Fig. 21 – Analisi di contesto	80
Fig. 22 – Struttura della <i>User interface</i>	81
Fig. 23 – Schermata di accesso AINOP	82
Fig. 24 – Libreria di <i>report</i>	84
Fig. 25 – Collegamento banche dati – Alimentazione AINOP	85
Fig. 26 – <i>User interface</i> geografica	87
Fig. 27 – Localizzazione delle opere inserite	88
Fig. 28 – Piano di trasformazione	92
Fig. 29 – Progetto ARGO: dettagli	94
Fig. 30 – <i>Integration Layer</i>	94
Fig. 31 – Discretizzazione delle opere	96
Fig. 32 – Costruzione del modello 3D	97
Fig. 33 – Scheda Valori Classe di Attenzione	98
Fig. 34 – Sistema <i>mobile</i> di monitoraggio dell’opera	99

Fig. 35 – Sistema di identificazione a più livelli interconnessi	100
Fig. 36 – Costruzione immagini da scansione tridimensionale (droni e LIDAR)	101
Fig. 37 – Specifiche del monitoraggio strutturale	102
Fig. 38 – Simulazione di pesatura dinamica	103
Fig. 39 – Mappatura AINOP	104
Fig. 40 – <i>Theoretical framework</i> applicato ai progetti AINOP e ARGO	105

A mio Padre...

INTRODUZIONE

Il presente lavoro origina da riflessioni personali nate nel corso del triennio dottorale oltre che da considerazioni di natura professionale che mi hanno indirizzato verso una tematica pregnante ed attuale: l'impiego dei *big data* per garantire la sicurezza del patrimonio infrastrutturale in Italia. Con il termine “patrimonio infrastrutturale” si fa riferimento alla viabilità e, pertanto, a strade, autostrade, viadotti, cavalcavia stradali, gallerie ferroviarie e stradali, oltre a strutture puntuali come dighe, edifici pubblici e strutture portuali e aeroportuali.

Le questioni riguardanti la “salubrità” del patrimonio infrastrutturale italiano (secondo l'accezione poc'anzi dettagliata) sono state oggetto, nel tempo, di un continuo dibattito a vari livelli istituzionali. Invero, diversi sono stati gli accadimenti che hanno evidenziato la necessità di più significativi interventi di manutenzione sulle opere d'arte esistenti. A partire dalla seconda metà del 2018, questa tematica è balzata in modo preponderante all'attenzione pubblica per questioni, purtroppo, legate ad eventi disastrosi¹. In particolare, la longevità della stragrande maggioranza degli elementi che costituiscono il patrimonio infrastrutturale e la consapevolezza della sua hanno evidenziato l'impellente necessità di ripensare le modalità di acquisizione e aggiornamento di informazioni e dati, al fine di valutare azioni utili a preservare la sicurezza di persone e cose, attraverso il monitoraggio e la manutenzione delle opere.

A tal proposito, si nota come gli effetti dei disastri, la cui portata varia in misura direttamente proporzionale al contesto territoriale di riferimento (*micro* – locale, *meso* – regionale/provinciale, *macro* – nazionale) possano tradursi in concrete ripercussioni sotto il profilo socio-economico-ambientale.

In tale contesto, rileva il concetto, ormai consolidato, secondo cui la tecnologia è in grado di supportare in modo significativo i processi di *problem solving* (Perolli, Russel, 1990; Biswas et al., 2001). D'altronde, molteplici sono i casi di infrastrutture nazionali già dotate di sistemi intelligenti per la raccolta di dati.

Da qui l'importanza della tecnologia quale leva primaria su cui concentrare la volontà di contribuire al miglioramento della sicurezza del nostro patrimonio infrastrutturale.

In particolare, la presente tesi dottorale è strutturata in 4 capitoli:

- nel *primo capitolo* è stato chiarito il problema della ricerca, le domande di ricerca e la metodologia impiegata;
- nel *secondo capitolo*, sono stati selezionati e dettagliati il *theoretical background* e il *theoretical frame work*;

¹ In particolare il riferimento è al crollo del noto “Ponte Morandi” (Viadotto Polcevera, Autostrada A10).

- nel *terzo capitolo* sono stati presentati i due casi di studio, mediante l'utilizzo del *multiple case study*;
- nel *quarto capitolo*, sono state rassegnate le conclusioni del lavoro di tesi.

Ringraziamenti

Mi preme ringraziare *in primis* il Coordinatore del Dottorato, Prof. *Valerio Antonelli* che ha svolto con rigore e alta professionalità il suo prezioso ruolo di indirizzo e guida.

Il *tutor* a me assegnato, il Prof. *Marco Pellicano* per avermi guidato e supportato lungo il percorso dottorale.

Il dott. *Mirko Perano* per l'assistenza fornitami nell'inquadramento concettuale e di modellizzazione del lavoro dottorale.

Un sentito ringraziamento, per il supporto tecnico fornito nella raccolta dei dati e nella realizzazione del caso AINOP, va all'Ing. *Mario Nobile*, Direttore Generale per la Digitalizzazione, i Sistemi informativi e Statistici congiuntamente al dott. *Felice Morisco*, Direttore Generale per le strade e autostrade, l'alta sorveglianza sulle infrastrutture stradali e la vigilanza sui contratti concessori autostradali.

Un particolare grazie alla società "Autostrade per l'Italia" per i dati e le informazioni tecniche fornite per la stesura del capitolo terzo.

In ultimo, ma non per importanza, la mia più sincera gratitudine al Cons. Alberto Stancanelli Capo Gabinetto del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili nonché all' Avv. Mario Capolupo e alla dott.ssa Chiara Palermo rispettivamente Capo e Vice Capo dell'Ufficio legislativo del medesimo Dicastero.

CAPITOLO 1

OBIETTIVI, SCOPO, METODOLOGIA E CONTESTO DELLA RICERCA

Sommario: 1.1. Dai problemi di ricerca alle domande di ricerca; 1.2. Disegno della ricerca e metodologia; 1.2.1. *Systematic Literature Review (SLR)*; 1.3. Il contesto della ricerca: il patrimonio infrastrutturale italiano; 1.3.1. *Il Sistema viario nazionale*; 1.3.2. *La rete viaria di interesse nazionale ANAS*; 1.3.3. *La rete autostradale in concessione*; 1.3.4. *Le opere d'arte infrastrutturali italiane*.

1.1. Dai problemi di ricerca alle domande di ricerca

Il presente lavoro dottorale racchiude i contenuti di un proficuo percorso di formazione triennale su tematiche attinenti alla ricerca nell'area manageriale e tecnologica, in coerenza con la mia formazione professionale. Nell'ambito di tale periodo formativo molteplici sono stati gli spunti e gli stimoli generati dalle interazioni formative con il *tutor*, i docenti, i colleghi e, più in generale, con il personale del Dipartimento di Scienze Aziendali – Management & Innovation Systems, che mi hanno indotto a riflettere sull'occasione di contribuire a migliorare il contesto di vita. Ed è proprio partendo dalla nuova conoscenza legata alla metodologia della ricerca e alla costruzione del pensiero scientifico acquisiti nell'ambito del percorso dottorale che nasce tale lavoro.

Nel presente elaborato, particolare attenzione sarà dedicata al patrimonio infrastrutturale italiano e alla sua salubrità. Tale patrimonio è costituito da strade, autostrade, viadotti, cavalcavia stradali, gallerie (ferroviarie e stradali), dighe e ponti. La longevità della stragrande maggioranza degli elementi che lo costituiscono (molti risalenti alla metà del secolo scorso) e la gravità di recenti eventi disastrosi² con le conseguenti ricadute sociali (tra le quali perdite di vite umane), ambientali ed economiche, richiedono una particolare attenzione del Governo italiano. Tale attenzione dovrebbe (o potrebbe) consistere nel presidiare l'area della sicurezza e della qualità dei servizi strettamente attinenti al patrimonio viario nazionale mediante un attento, capillare e periodico monitoraggio tecnico con cui valutare lo stato delle infrastrutture e pianificare interventi di manutenzione ordinaria e/o straordinaria. Tali interventi si rendono non solo necessari, ma indispensabili, per garantire

² In particolare, il riferimento è Crollo di una campata del Viadotto Polcevera, sul tratto autostradale A10 Genova-Ventimiglia, meglio conosciuto come "Ponte Morandi", accaduto il 14 agosto 2018. Tale infrastruttura varata nel 1967, è da considerarsi quale snodo autostradale strategico per mezzi sia leggeri che pesanti provenienti dalla Liguria e diretti a tale destinazione. È da considerarsi una importante arteria che ha collegato il levante e il ponente cittadino ed ha consentito il transito da e per le aree portuali. Inoltre, è da considerarsi il crollo del ponte di Albiano, sul Fiume Magra, che collega l'abitato di Santo Stefano di Magra (SP) con Albiano (MC) avvenuto l'8 aprile 2020. Tale infrastruttura è stata costruita nel 1908 e ricostruita nel 1949.

un totale livello di sicurezza dei cittadini oltre ad assicurare la non interruzione dei flussi di traffico ascensionali e discensionali nei collegamenti con l'Europa, da cui dipende una significativa quota della produzione economica dell'Italia. Su tale ultimo aspetto, di particolare rilevanza è il lavoro proposto da Aschauer nel 1989. L'Autore, nella sua nota pubblicazione "*Is Public Expenditure Productive?*", ha proposto l'analisi di una serie storica della produzione scientifica U.S.A. nel periodo dal 1949 al 1985 riguardante gli interventi pubblici nell'ambito delle infrastrutture, con l'obiettivo primario di misurare l'efficacia della crescita economica di specifiche aree. L'ipotesi di fondo è stata validata (ovvero non falsificata) e l'Autore ha evidenziato una positiva elasticità del fattore "capitale pubblico" (valori tra lo 0,35 e lo 0,40), nella crescita economica nella funzione di produzione dei territori che beneficiavano di interventi pubblici per il miglioramento infrastrutturale (Aschauer, 1989)³. Molteplici sono stati gli studi che hanno investigato negli U.S.A., in Europa e anche in Italia sulle elasticità stimate dell'impatto degli interventi di capitale pubblico sulla crescita economica nelle funzioni di produzione e VAR (*Vector Auto Regressive*)⁴, come riportato nella sottostante tabella 1.

Con riferimento al contesto europeo, lo studio che ha evidenziato il rapporto positivo tra crescita economica e investimenti per il miglioramento delle infrastrutture, è quello proposto agli inizi degli anni '90 da Biehl (1991)⁵, in cui viene dimostrato il fondamentale contributo di un sistema infrastrutturale funzionante (con controllo diretto dei *policy maker* pubblici) nello sviluppo regionale (misurato mediante utilizzo dei fattori di reddito, produttività e occupazione).

Con riferimento al contesto italiano si segnalano gli studi di Di Giacinto et al. (2010), i quali propongono stime di elasticità VAR sul lungo periodo più elevate rispetto a precedenti analisi che utilizzano modelli diversi. Le risultanze delle analisi proposte da Bonaglia et al. (2000) evidenziano un non significativo effetto dell'economia pubblica nella crescita Paese, al netto di punte di significatività regionale particolareggiate (elasticità del Mezzogiorno pari a 0,49 mentre effetti nulli per il Nord Ovest) (Di Giacinto et al., 2011)⁶.

³ Aschauer, D.A., 1989, *Is Public Expenditure Productive?*, *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177-200, doi: 10.1016/0304-3932(89)90047-0.

⁴ I modelli autoregressivi in forma vettoriale (VAR) (Sims, 1982) sono modelli di natura statistica con cui è possibile, tra le altre cose, descrivere e sintetizzare relazioni dinamiche tra variabili. Tali modelli nascono in risposta ad un uso eccessivo, nella ricerca di modelli strutturali, di restrizioni di esclusione.

⁵ Biehl D., 1991, "*Il ruolo delle Infrastrutture nello sviluppo regionale in Economie locali in ambiente competitivo*", in Boscacci, F., Gorla, G. (a cura di), *Economie locali in ambito competitivo*, Franco Angeli, Milano.

⁶ Di Giacinto, V., Micucci, G., Montanaro, P., 2011, "*Coordinamento della spesa pubblica e spillover spaziali delle infrastrutture di trasporto: evidenze per l'Italia*", in Balassone, F., Casadio, P. (a cura di), *Le infrastrutture in Italia: dotazione, programmazione, realizzazione*, Atti di Convegno dal titolo "*Le infrastrutture in Italia*", Perugia, 14-15 Ottobre 2010, Centro Stampa della Banca d'Italia, Banca d'Italia Eurosystem, pp. 21-56.

Tab. 1 – Stime dell’impatto delle infrastrutture sul P.I.L.

<i>Production Function</i>		VAR	
Autori	Elasticità stimate	Autori	Elasticità stimate
USA			
Aschauer, 1989°	0,39	Abdih e Joutz, 2008	0,39
Munnel, 1990°	0,31-0,37	Pereira, Andraz, 2001	0,05
Shioji, 2001	0,08-0,14	Pereira, 2001	0,04
Munnel, 1990b	0,06-0,15		
Garcia-Mila, McGuire, Porter, 1996	Non		
Holtz-Eakin, 1994	Non		
Kelejian, Robinson, 1997	Non		
Paesi europei			
Stephan, 2003	0,38-0,65	Pereira, Roca-Segales, 2003	0,52
Lighthart, 2000	0,20-0,35	Pereira, Roca-Segales, 1999	0,38
Bajo-Rubio, Sosvilla-Rivero, 1993	0,18-0,20	Pereira, Roca-Segales, 2001	0,31
Kemmerling, Stephan, 2002	0,17	Pereira, Andraz, 2004	0,18
Cadot, Roller, Stephan, 1999	0,08	Everaert, 2003	0,14
Stephan, 2001	0,08-0,11		
Cadot, Roller, Stephan, 2004	0,08		
Italia			
Bonaglia, La Ferrara, Marcellino, Bronzini, Piselli, 2009	0,14*-0,19	Di Giacinto, Micucci, Montanaro 2012	0,62
Picci, 1999	0,18		
De Stefanis, Sena, 2005	0,12		
Percoco, 2004	0,10-0,20		
La Ferrara, Marcellino, 2000	Neg.		

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Di Giacinto et al., 2011

Con più ampio dettaglio si propone, di seguito, una disamina sui lavori pubblicati nel periodo 1973-2010 (*journal papers, book chapters and proceedings*) dedicati ad investigare l’impatto macroeconomico delle infrastrutture con le specificità dell’articolazione territoriale, l’approccio di stima, il periodo di osservazione, l’elasticità e l’indicazione dei risultati di ricerca (chiari e univoci effetti positivi).

Tab. 2 – Letteratura sull’impatto macroeconomico delle infrastrutture (1973-2010)

Autore	Anno pubbl.	Articolazione territoriale	Approccio di stima	Periodo	Elasticità	Chiari e univoci effetti positivi
Mera	1973	Giappone (regioni)	PF	1954-1963	0,200	si
Ratner	1983	USA	PF	1949-1973	0,277	si
Eberts	1986	USA (aree metropolitane)	PF	1958-1978	0,035	si
Nijkamp	1986	Olanda (regioni)	PF	1970-1980	0,150	si
Da Silva Costa, Ellson, Martin	1987	USA (Stati)	PF	1970-1986	0,281	si
Aschauer	1989	Stati Uniti	PF	1949-1985	0,390	si
Ram, Ramsey	1989	USA	PF	1948-1985	0,240	si
Merriman	1990	Giappone (regioni)	PF	1954-1963	0,505	si
Munnell (1)	1990	USA	PF	1949-1987	0,340	si
Munnell (2)	1990	USA	PF	1970-1986	0,105	si
Duffy-Deno, Eberts	1991	USA	PF	1980-1984	0,081	no
Eisner	1991	USA (Stati)	PF	1970-1986	0,077	si
Hulten, Schwab	1991	USA (regioni)	PF	1970-1986	0,000	no
Tatom	1991	USA	PF	1948-1989	0,042	no
Berndt, Hansson	1992	Svezia	PF	1964-1988	0,687	si
Garcia-Mila, McGuire	1992	USA (Stati)	PF	1969-1983	0,045	si
Lynde, Richmond	1992	USA	PF	1958-1989	0,340	si
Bajo-Rubio, Sosvilla-Rivero	1993	Spagna	PF	1964-1988	0,190	si
Clarida	1993	Panel di paesi	VAR/VECM	1964-1989	0,000	no
Finn	1993	USA	PF	1950-1989	0,158	no
Lynde, Richmond	1993	UK	PF	1966-1990	.	no
Munnell	1993	USA	PF	1970-1990	0,040	si
Evans, Karras (1)	1994	USA (Stati)	PF	1970-1986	-0,062	no
Evans, Karras (2)	1994	7 paesi OCSE	PF	1963-1988	-0,175	no
Holtz-Eakin	1994	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1969-1986	-0,022	no
McMillin, Smyth	1994	USA	VAR/VECM	1952-1990	0,000	no
Andrews, Swanson	1995	USA	PF	1970-1986	0,110	si
Baltagi, Pinnoi	1995	USA	PF	1970-1986	0,002	no
De la Fuente, Vives	1995	Spagna	PF	1981,86,90	0,212	si
Holtz-Eakin, Shwartz (1)	1995	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1971-1986	0,112	si
Holtz-Eakin, Shwartz (2)	1995	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1971-1986	-0,007	no
Sturm, De Haan	1995	USA	PF	1949-1985	0,780	si
Boarnet	1996	California (USA), Contee	PF	1969-1988	0,190	si
Garcia-Mila, McGuire, Porter	1996	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1970-1983	-0,058	no
Holtz-Eakin, Lovely	1996	USA	PF	1972-1987	-0,144	no

Autore	Anno pubbl.	Articolazione territoriale	Approccio di stima	Periodo	Elasticità	Chiari e univoci effetti positivi
Mas, Maudos, Perez, Uriel	1996	Spagna (regioni)	PF	1964-1991	0,086	si
Morrison, Schwartz	1996	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1970-1987	0,405	si
Otto, Voss (1)	1996	Australia	VAR/VECM	1959-1982	0,381	si
Otto, Voss (2)	1996	Australia	VAR/VECM	1959-1982	0,168	no
Balmaseda	1997	USA (Stati)	PF	1970-1986	0,000	no
Crowder, Himarios	1997	USA	VAR/VECM	1947-1989	0,294	si
Kavanagh	1997	Irlanda	PF	1956-1990	0,144	no
Kelejian, Robinson	1997	Stati Uniti (48 Stati contigui)	PF	1969-1986	-0,023	no
Nazmi, Ramirez	1997	Messico	PF	1950-1990	0,129	si
Vijverberg, Vijverberg, Gamble	1997	USA	PF	1958-1989	0,481	si
Batina	1998	USA	VAR/VECM	1948-1993	0,090	si
Boarnet	1998	California (USA), Contee	PF	1969-1988	0,265	si
Erenburg	1998	USA	PF	1948-1990	0,290	si
Flores de Frutos, Garcia, Perez	1998	Spagna	VAR/VECM	1964-1992	0,210	si
Nourzad	1998	USA	VAR/VECM	1948-1987	0,340	no
Ramirez	1998	Messico	PF	1950-1990	0,590	no
Cadot, Roller, Stephan	1999	Francia (regioni)	PF	1985-1991	0,085	si
Canning	1999	Panel di paesi	PF	1960-1990	0,000	no
Charlot, Schmitt	1999	Francia (regioni)	PF	1982-1993	0,317	si
Delorme, Thompson, Warren	1999	USA	PF	1948-1987	0,213	no
Duggall, Saltzman, Klein	1999	USA	PF	1960-1989	0,270	si
Fernald	1999	USA	PF	1953-1989	0,350	si
Groote, Jacobs, Sturm	1999	Olanda	VAR/VECM	1853-1913	0,025	no
Mamatzakis	1999	Grecia	VAR/VECM	1959-1993	0,215	si
Pereira, Flores de Frutos	1999	USA	VAR/VECM	1956-1989	0,630	si
Pereira, Roca-Sagales	1999	Spagna	VAR/VECM	1970-1989	0,380	si
Picci	1999	Italia (regioni)	PF	1970-1995	0,350	si
Bonaglia, La Ferrara, Marcellino	2000	Italia (regioni)	PF	1970-1994	0,140	no
Boscá, Escriba, Murgui	2000	Spagna (regioni)	PF	1980-1993	0,080	si
Canning, Bennathan	2000	Panel di paesi	PF	1960-1990	0,000	no
Delgado, Alvarez	2000	Spagna (regioni)	PF	1980-1995	0,000	no
Demetriades, Mamuneas	2000	Panel di paesi	Profit function	1972-1991	0,360	si
La Ferrara, Marcellino (1)	2000	Italia (regioni)	PF	1970-1994	-0,148	no
La Ferrara, Marcellino (2)	2000	Italia (regioni)	PF	1970-1994	0,000	no
Nourzad	2000	24 paesi	PF	1976-1989	0,529	si

Autore	Anno pubbl.	Articolazione territoriale	Approccio di stima	Periodo	Elasticità	Chiari e univoci effetti positivi
Stephan	2000	Germania e Francia (regioni)	PF	1970-1995	0,112	si
Yamano, Ohkawara	2000	Giappone	PF	1970-1994	0,148	si
Yamarik	2000	USA	PF	1977-1996	0,088	no
Alonso-Carrera, Freire-Séren	2001	Spagna	PF	1964-1995	0,126	si
Mittnik, Neumann	2001	Panel di paesi	VAR/VECM	1955-1994	0,000	no
Pereira	2001	Stati Uniti (nazion.)	VAR/VECM	1956-1997	0,042	si
Pereira, Andraz	2001	USA (naz. e stati)	VAR/VECM	1956-1997	0,047	si
Pereira, Roca-Sagales	2001	Spagna	VAR/VECM	1970-1993	0,310	si
Shioji	2001	Stati Uniti, Giappone	PF	1963-1995	0,110	si
Calderón, Servén	2002	Panel di paesi	PF	1960-1997	0,160	si
Haughwout	2002	USA	PF	1974-1991	0,000	no
Kemmerling, Stephan	2002	Germania (87 città)	PF	1980, 86,88	0,170	si
Ligthart (1)	2002	Portogallo	PF	1965-1995	0,275	si
Ligthart (2)	2002	Portogallo	VAR/VECM	1965-1995	.	si
Paci, Saddi	2002	Italia (regioni)	PF	1970-1995	0,160	si
Voss	2002	USA; Canada	VAR/VECM	1951-1998	0,000	si
Everaert	2003	Belgio	VAR/VECM	1953-1996	0,140	si
Moreno, López-Bazo, Artís (1)	2003	Spagna (regioni)	PF	1980-1991	0,000	no
Moreno, López-Bazo, Artís (2)	2003	Spagna (regioni)	PF	1980-1991	0,000	no
Pereira, Andraz	2003	Portogallo	VAR/VECM	1976-1998	0,180	si
Pereira, Roca-Sagales (1)	2003	Spagna	VAR/VECM	1970-1995	0,520	si
Pereira, Roca-Sagales (2)	2003	Spagna (regioni)	VAR/VECM	1970-1995	0,265	si
Stephan	2003	Germania (Laenders)	PF	1970-1996	0,537	si
Canning, Pedroni	2004	Panel di paesi	PF	1950-1992	0,027	no
Everaert, Heylen	2004	Belgio	PF	1953-1996	0,290	si
Percoco	2004	Italia (regioni)	PF	1970-1994	0,150	si
Pereira, Andraz	2004	USA	VAR/VECM	1977-1999	0,140	si
Calderón, Servén	2005	Panel di paesi	PF	1960-2000	0,022	si
Cantos, Gumbau, Maudos	2005	Spagna	PF	1955-1996	0,042	si
De Stefanis, Sena	2005	Italia (regioni)	TFP regression	1970-1998	0,120	si
Kamps (1)	2005	22 paesi OCSE (14 EU)	PF	1960-2001	0,200	si
Kamps (2)	2005	22 paesi OCSE	VAR/VECM	1960-2001	0,410	si
Kataoka	2005	Giappone	PF	1955-2002	0,185	si
Kawaguchi, Ohtake, Tamada	2005	Giappone	PF	1994-1998	0,180	no
Le, Suruga	2005	105 paesi	PF	1970-2001	0,076	si
Berechman, Ozmen, Ozbay	2006	USA	PF	1990-2000	0,035	no

Autore	Anno pubbl.	Articolazione territoriale	Approccio di stima	Periodo	Elasticità	Chiari e univoci effetti positivi
Cadot, Roller, Stephan	2006	Francia (regioni)	PF	1985-1992	0,080	si
Marrocu, Paci	2006	Italia (regioni)	PF	1996-2003	0,120	si
Abdih, Joutz	2008	Stati Uniti	VAR/VECM	1948-2004	0,390	si
Creel, Poilon (1)	2008	Panel di paesi	VAR/VECM	1960-2004	.	si
Creel, Poilon (2)	2008	Panel di paesi	PF	1969-2009	0,115	si
Creel, Poilon (3)	2008	Francia (regioni)	PF	1995-2002	0,080	si
Crescenzi, Rodriguez-Pose	2008	Panel paesi europei	PF	1990-2003	0,040	no
Bronzini, Piselli	2009	Italia (regioni)	PF	1980-2001	0,190	si
Egert, Kozluk, Sutherland	2009	Paesi OCSE	PF	1960-2005	0,000	no
Di Giacinto, Micucci, Montanaro	2010	Italia (regioni)	VAR/VECM	1970-2001	0,620	si
<i>Legenda</i>					<i>tot=116</i>	<i>si=78 (67,3%)</i>
PF= Production function (funzioni di costo)						<i>no=38 (32,7%)</i>
TFM regression: Total Factor Productivity regression						
VAR= Vector Auto Regressive						
VECM= Vector Error-Correction Models						

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Di Giacinto et al., 2011

La letteratura indagata evidenzia, inequivocabilmente, l'effetto macroeconomico positivo sulle economie (nazionali e regionali) derivante dagli investimenti in ambito infrastrutturale. Distintamente, utilizzando una impostazione deduttiva inversa, emerge che le economie (nazionali e regionali), risentono dell'impatto generato dal non funzionamento o dalle limitazioni funzionali dei singoli o multipli elementi costituenti il patrimonio infrastrutturale.

Il patrimonio infrastrutturale viene comunemente classificato in *core* e *non-core* (Aschauer, 1989; Picci e Bonaglia, 2000; Mastromarco, Woitek, 2006)⁷. Ulteriore distinzione è proposta da Biehl et al. (1990)⁸, secondo i quali le infrastrutture possono distinguersi tra infrastrutture a rete (autostrade, ferrovie, reti di comunicazione, sistemi per l'approvvigionamento di acqua ed energia, vie d'acqua, strade) e a nucleo (musei, ospedali, scuole, etc.). Relativamente ai sistemi di trasporto, con riferimento al contesto nazionale, secondo l'ISTAT (Istituto Italiano di Statistica), nel suo *Reporting Paese*, il trasporto su strada "resta la principale modalità di trasporto sia in tkm (*ndr* tonnellate utili trasportate per

⁷ Aschauer, D.A., 1989, *op. cit.*; Bonaglia, F. and L. Picci, 2000, Lo stock di capitale nelle regioni italiane, *Quaderni del Dipartimento di Scienze Economiche* No. 374, University of Bologna; Mastromarco C., Woitek U., 2006, Public Infrastructure investment and efficiency in Italian Regions, *Journal of Productivity Analysis*, 25(1/2), 57-65, doi: 10.1007/s11123-006-7127-9.

⁸ Biehl, D., Bracalente, B., Di Palma, M., Mazziotta, C., 1990, *La diffusione territoriale delle infrastrutture: un'analisi per l'Europa e per l'Italia in Le infrastrutture a rete. Dotazioni e linee di intervento*, Sipi Editore, Roma.

i km percorsi) che in tonnellate” (ANFIA, 2021, p. 35)⁹. Nell’annualità 2020, infatti, l’Italia ha registrato movimentazione su merce per un totale di 979ml di tonnellate, in aumento del 6,3% rispetto al 2018 (921ml di tonnellate). Come sottolineato da TRT (per conto di Banda d’Italia)¹⁰, tra tutte le modalità di trasporto, quello su strada, è stato “*il meno colpito dagli effetti della pandemia [...] ed ha avuto un ruolo decisivo per la tenuta socio-economica del Paese*” (Galli, 2021, p. 60)¹¹. Il contributo fornito dal settore logistico nel periodo della pandemia è stato di vitale importanza per garantire la disponibilità per l’approvvigionamento dei beni di prima necessità e di carburante.¹² La sicurezza e la salubrità del patrimonio infrastrutturale (con riferimento al sistema viario nazionale) hanno certamente contribuito al successo del settore logistico su gomma nell’assicurare i beni di prima necessità alla popolazione italiana evitando, in tal modo, un ulteriore appesantimento del clima sociale nel periodo pandemico. In altri casi, purtroppo, tale salubrità ha impattato negativamente sulla sicurezza dei fruitori del patrimonio viario nazionale causando gravissime e inaccettabili perdite di vite umane, gravissime ripercussioni in termini di disservizi (e da qui gravi perdite economiche per le comunità locali) e di impatto ambientale. Basti pensare agli ingenti danni che il crollo del ponte Morandi di Genova ha prodotto sul sistema economico, sia in maniera diretta avendo coinvolto centinaia di aziende che gravitano nell’area del cratere sia per i molteplici disagi che ha subito il porto di Genova nella movimentazione delle proprie merci, essendo praticamente tagliato fuori dal collegamento per l’Europa. La salubrità del patrimonio viario nazionale, nel contesto di tale lavoro dottorale, è considerata come un fattore impattante la sicurezza. Un adeguato livello di sicurezza è garantito da costanti interventi tesi a sanare il deficit manutentivo, con particolare riguardo a ponti e viadotti, anche in considerazione della presa d’atto dell’opinione pubblica della situazione emergenziale in cui versa la rete viaria nazionale. Tali improcrastinabili interventi, associati ad un più efficiente, efficace e tempestivo sistema di monitoraggio delle infrastrutture, sono in grado di elevare lo standard di qualità e di sicurezza dei trasporti, su un territorio, quale quello italiano, che per le sue caratteristiche morfologiche, registra una elevata percentuale di traffico su gomma. A ben vedere il patrimonio infrastrutturale italiano, con particolare riferimento al sistema viario, costituisce una vera e propria leva per il miglioramento della competitività, del *welfare* e dello sviluppo delle economie locali, regionali e del nostro Paese, essendo dimostrato, nell’ampia letteratura riportata nelle precedenti tab. 1 e 2,

⁹ ANFIA, 2021, *Dossier Trasporto merci su strada*, maggio, p. 35. Documento consultabile su: https://www.ansa.it/documents/1637075696353_2.pdf.

¹⁰ TRT è una società di consulenza indipendente che svolge, per conto di Banca d’Italia, un costante monitoraggio dell’andamento dei costi di trasporto internazionale delle merci.

¹¹ Galli, G., 2021, Il trasporto merci alla prova del Covid-19, *Il Giornale della logistica*, consultabile su http://www.trt.it/wp/wp-content/uploads/2021/09/GDL06@060_061-TRT.pdf.

¹² Osservatorio MIMS (Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile), 2021, Report sulle tendenze di mobilità durante l’emergenza sanitaria, consultabile al seguente link: <https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2021-11/Report%20Osservatorio%20TPL.pdf>.

l'impatto positivo degli interventi pubblici nelle infrastrutture sul miglioramento delle performance delle economie (locali, regionali e nazionale). Pertanto, la funzionalità e la salubrità (quindi anche la bellezza) del patrimonio infrastrutturale va preservata sia e soprattutto in ragione della tutela della sicurezza delle persone, ma anche per supportare la crescita economica di un territorio e per migliorare la qualità dei servizi offerti alla comunità, generando in tal modo impatti positivi sia a livello sociale (maggiore soddisfazione degli utenti locali, nazionali e internazionali), che economico (facilitazioni per il comparto turistico, industriale, manifatturiero, degli interscambi nazionali e internazionali) ed ambientale (con interventi di bonifica e preservazione che impattano sull'ambiente e sull'inquinamento). In tale contesto ed a valle di tutto quanto ciò che è stato rappresentato, una opportuna riflessione, va nella direzione dell'utilizzo della tecnologia a supporto del miglioramento della sicurezza nelle infrastrutture.

La tecnologia costituisce oggi un elemento trainante per l'economia globale e uno strumento che caratterizza la vita quotidiana di ogni cittadino. Lo “*smartness*”, ovvero “l'intelligenza”, è un termine che è stato traslato dalle persone alle cose: dapprima i *devices* come i telefoni cellulari (*smartphone*), poi alle abitazioni (*smart home*), poi agli orologi (*smart watch*) e finanche alle città (*smart city*). Buhalis (2015), tra i vari in letteratura, ha fornito una indicativa definizione di *smartness*”:

“[...] smartness takes advantage of interconnectivity and interoperability of integrated technologies to reengineer processes and data in order to produce innovative services, products and procedures towards maximising value for all stakeholders. This reengineering enables shaping products, actions, processes and services in real-time, by engaging different stakeholders simultaneously to optimise the collective performance and competitiveness and generate agile solutions and value for all involved in the value system. Smartness is the glue of interconnected and mutually beneficial systems and stakeholders and provides the infostructure for the value creation for all” (Buhalis, 2015, p. 1)¹³.

In letteratura è chiarito che lo *smartness* è possibile solo quando le singole componenti dei sistemi complessi (come ad esempio energia, veicoli autonomi, industria intelligente, sensoristica, etc.) sono chiaramente definite (Bures, T., 2017)¹⁴. Interessante ed aperta è una tematica dibattuta sulla relazione, in chiave multidisciplinare, esistente tra *smartness* e *security* (Bures, T., 2017). La tecnologia esistente (inclusi i *Big Data*, l'*Internet of Things*, il

¹³ Buhalis, D., 2015, “*Working Definitions of Smartness and Smart Tourism Destination*”, consultato su <http://buhalis.blogspot.co.uk/2014/12/working-definitions-of-smartness-and.html/>, Marzo 2020.

¹⁴ Bures, T., Weyns, D., Schmerl, B., Tovar, E., Boden, E., Gabor, T., Gerostathopoulos, I., Gupta, P., Kang, E., Knauss, A., Patel, P., Rashid, A., Ruchkin, I., Sukkerd, R., Tsigkanos, C., 2017, *Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems: Challenges and Promising Solutions*, *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 42(2), doi: 10.1145/3089649.3089656.

Cloud, l'Artificial Intelligence, data analytics, machine learning, data science), compresa la parte fisica (come ad esempio la sensoristica e la componentistica), è da considerarsi parte integrante e sostanziale dello *smartness*.

Dal problema di ricerca sin qui chiarito circa la:

- rilevanza del contributo del patrimonio infrastrutturale italiano (con particolare riferimento al sistema viario nazionale) alle economie locali, regionali e nazionale (che impatta anche sulla competitività Paese);
- necessità di monitorare e salvaguardare il patrimonio infrastrutturale italiano per il miglioramento della sicurezza delle persone e per supportare la crescita economica di un territorio e per migliorare la qualità dei servizi offerti alla comunità, generando in tal modo impatti positivi sia a livello sociale che economico ed ambientale;
- esistenza di tecnologia con cui è possibile monitorare il patrimonio infrastrutturale;

è possibile chiarire lo scopo del presente lavoro dottorale che consiste nell'investigare scientificamente sulla relazione tra tecnologia esistente e sicurezza nel patrimonio infrastrutturale italiano per contribuire alla sua salvaguardia e preservazione. L'obiettivo centrale del lavoro è tentare di identificare e definire un *theoretical framework* da esplicitare epistemologicamente (chiarendo l'aspetto filosofico con cui è inquadrata la logica e i criteri della metodologia – Sasso et al., 2015)¹⁵ e formulare le domanda di ricerca che caratterizzano il presente lavoro di tesi dottorale:

RQ1: *in che modo la tecnologia esistente può contribuire a preservare la salubrità, ai fini della sicurezza, del patrimonio infrastrutturale italiano (con particolare riferimento al sistema viario)?*

RQ2: *è possibile definire un modello teorico che, mediando tra teorie manageriali e tecnologia esistente, contribuisca a supportare i policy makers per preservare la salubrità del patrimonio infrastrutturale italiano (con particolare riferimento al sistema viario)?*

Al fine di fornire risposte adeguate alle domande di ricerca, nella successiva sezione viene dettagliata la metodologia impiegata e il disegno della ricerca.

1.2. Disegno della ricerca e metodologia

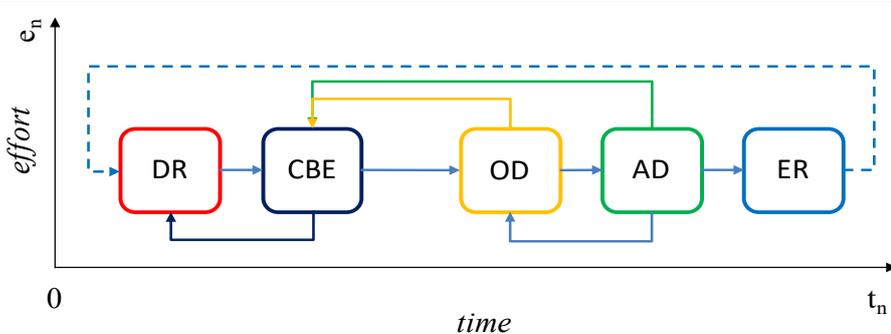
Il disegno della ricerca è “*il punto in cui le questioni sollevate nei dibattiti tecnici o politici vengono convertite in fattibili programmi di ricerca*” (Perano, Cerrato, 2017, p. 2; sul punto si veda anche Hakin, 2000)¹⁶ per dare risposte a domande di ricerca. La formulazione del disegno della ricerca è stata realizzata in modo da dare “*l'opportunità di conoscere gli ambiti epistemologici e metodologici coerenti con l'oggetto da conoscere*” (Memoli, 2004,

¹⁵ Sasso, L., Bagnasco, A., Ghirotto, L., 2015, *La ricerca qualitativa*, Edra S.p.A., Milano.

¹⁶ Perano, M., Cerrato, R., 2017, *Il bilancio sociale tra pianificazione strategica e co-creazione di valore*, Giappichelli, Torino, p. 2; Hakin, C., 2000, *Research design for social and economic research*, Routledge, New York.

p. 27)¹⁷. Nel *set up* del disegno della ricerca si impostano le strategie di ricerca da mettere in atto con l'obiettivo di acquisire maggiore conoscenza e perfezionare le domande di ricerca che mirano a qualificare oggetti di indagine per obiettivi sempre più puntuali. Con l'avvio della ricerca, la strutturazione del processo “*si implementa con la migliore conoscenza di ogni fase del processo rendendo così possibile l'implementazione continua di tutte le sue fasi*” (Perano, Cerrato, 2017, p. 3)¹⁸. Per quanto attiene al disegno della ricerca del presente lavoro, diversamente da quanto accade nell'impiego degli approcci quantitativi (costruito puntualmente prima dell'avvio della ricerca), questo non ha avuto una strutturazione rigida, ma dinamica e adattiva rispetto all'evoluzione della indagine. Ciononostante, il disegno della ricerca caratterizzante il presente lavoro dottorale è stato calibrato in base alla natura qualitativa della ricerca stessa. La ricerca qualitativa può essere definita come “*an umbrella term used to refer to the theoretical perspectives designs as [Creswell, 2009; Hancock et al., 2009]: narrative, phenomenology, grounded theory, action research, case study, ethnography, historical research, and content analysis*” (Haradhan, 2018, p. 29)¹⁹. A sua volta, la natura qualitativa della ricerca “[...] *discende dal paradigma interpretativo*” (Corbetta, 1999, p. 56)²⁰, pertanto la relazione tra teoria e ricerca è aperta, pertanto interattiva. La strutturazione del processo di ricerca, è stata realizzata ed implementata in accordo con il modello proposto da Perano e Cerrato (2017).

Fig. 1 – Approccio sistemico alla ricerca



LEGENDA

- DR: Disegno della Ricerca
- CBE: Costruzione della base empirica
- OD: Organizzazione dei dati
- AD: Analisi dei dati
- ER: Esposizione dei risultati

Fonte: Perano, Cerrato, 2017

¹⁷ Memoli, S., *Strategie e strumenti della ricerca sociale*, FrancoAngeli, Milano.

¹⁸ Perano, M., Cerrato, R., 2017, *op. cit.*, p. 3.

¹⁹ Haradhan, M., 2018, *Qualitative Research Methodology in Social Sciences and Related Subjects, Journal of Economic Development, Environment and People*, 7(1), 23-48. Tra gli altri, si veda anche: Creswell, J. W., 2009, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Method Approaches* (3rd Ed.), SAGE Publications, Los Angeles; Hancock, B., Ockleford, E., Windridge, K., 2009, *An Introduction to Qualitative Research*, National Institute for Health Research (NIHR), The NIHR RDS EM/YH.

²⁰ Corbetta, P., 1999, *Metodologia e tecniche della ricerca sociale*, Il Mulino, Milano, ISBN 88-15-06792-2.

Nel Disegno della Ricerca (DR) avviene la “cristallizzazione” e la sintesi del problema della ricerca e degli obiettivi (o sub-obiettivi) da conseguire. Nel momento della Costruzione della Base Empirica (CBE) viene definito il periodo e il confine (spazio temporale) entro il quale la ricerca si muove. L’Organizzazione dei Dati (OD) prevede la trasformazione delle informazioni in dati per una loro interpretazione (o analisi in caso di approccio metodologico quantitativo) o reinterpretazione di dati *standard* o *non standard* della ricerca sociale²¹. Nell’Analisi dei Dati (AD) questi ultimi vengono spiegati mediante impiego di metodi, tecniche e strumenti statistici (approcci quantitativi), ovvero interpretati (approcci qualitativi). Nel momento dell’Esposizione dei Risultati (ER), vi è un vero e proprio momento della rendicontazione e i risultati (con particolare riferimento a quelli ottenuti da AD) vengono dettagliati per singola fase e comunicati collocandoli, possibilmente, nella letteratura esistente e fornendo, al contempo, spunti per future direzioni/ipotesi di ricerca²².

Il DR del presente lavoro è stato caratterizzato da tipologie di indagine di varia natura: *esplorative, descrittive ed esplicative*. Infatti:

- il capitolo primo si concentra nell’esplorazione del fenomeno e della letteratura che ruota attorno all’oggetto della ricerca;
- il secondo capitolo offre una selezione di teorie in ambito tecnologico e manageriale che contribuiscono a definire un modello teorico che si propone, sebbene con i propri limiti, di esplicitare e leggere fenomeni reali;
- il terzo capitolo presenta, mediante l’impiego della metodologia dello *studio di caso* (Yin, 1983, 1994, 1999, 2003)²³ e in particolare dello *studio di caso multiplo*, due progetti tra loro interconnessi relativi al patrimonio infrastrutturale italiano e alla sicurezza.
- il quarto capitolo presenta le conclusioni del lavoro di tesi dottorale.

Le tre tipologie di indagine (esplorativa, descrittiva ed esplicitativa) si sono alternate lungo tutte le fasi del processo di ricerca. Ciò ha consentito sia una maggiore e migliore definizione degli obiettivi di ricerca, ma anche una maggiore uniformità e omogeneità sistemica dell’intero processo di ricerca. Il processo di ricerca è stato strutturato secondo le seguenti fasi:

²¹ Marradi A., 1996, *Metodo come arte, Quaderni di Sociologia*, Vol. XL(10), 71-92; Ricolfi, L., 1997, *La ricerca qualitativa*, Carocci, Roma; Corbetta, P., 1999, *Metodologia e tecniche della ricerca sociale*, Il Mulino, Bologna.

²² Perano, M., Cerrato, R., 2017, *op. cit.*; Di Franco, G. (a cura di), 2005, *Esplorare, descrivere e sintetizzare i dati. Guida pratica all’analisi dei dati nella ricerca sociale*, Franco Angeli, Milano.

²³ Yin R. K., 1983, *The case study method: An annotated bibliography*, Cosmos Corporation, Washington D.C.; Yin R. K., 1994, *Key study research. Design and methods*, Sage Publications Inc., New York; Yin R. K., 1999, *Key study research*, Sage Publications Inc., New York; Yin R. K., 2003, *Case study research*, Sage Publications Inc., New York.

- definizione del problema della ricerca ricognitiva (indagine esplorativa): fonti primarie (governative, ministeriali, regionali e delle società di gestione del patrimonio infrastrutturale italiano) sono state consultate e analizzate per lo scopo;
- implementazione e definizione delle domande di ricerca;
- operazionalizzazione della ricerca mediante la valutazione e la selezione di opportuni strumenti, metodi e tecniche di ricerca sociale (in particolare una *systematic literature review* nel presente capitolo, una *overview* con selezione sistematica di teorie in ambito tecnologico e manageriale nel capitolo 2 e la presentazione di un *multiple case study* nel capitolo terzo);
- sistematizzazione di teorie in un modello teorico esplicativo del fenomeno oggetto di studio e rappresentativo del caso di studio indagato nel presente lavoro;
- studio di caso multiplo;
- sintesi interpretativa e conclusioni.

La definizione del problema della ricerca ha avuto origine da argomenti affini alla mia estrazione professionale, anche sulla spinta di specifici accadimenti (crollo del ponte Morandi), e dalla formazione acquisita (di metodologia della ricerca e di ambito teorico) nel mio percorso dottorale. Nel primo *step*, maggiormente dedicato alla definizione dei confini dei problemi della ricerca, si è adottato un approccio di tipo narrativo-descrittivo seguendo tre precise azioni: “*osservare, interrogare e leggere*” (Corbetta, 2003, p. 437)²⁴. L’osservazione partecipante²⁵ (Corbetta, 2003) è stata di particolare utilità in tale fase della ricerca (descrittiva-esplorativa) in quanto ha consentito una migliore comprensione e focalizzazione del problema della ricerca. L’esplorazione rispetto alla problematica riferita alla sicurezza del patrimonio infrastrutturale italiano e all’uso dei *big data* è stato il punto di partenza della ricerca, successivamente contestualizzato e circoscritto al territorio italiano. Dalla formulazione del problema di ricerca sono poi passato alla sua traduzione in un problema scientificamente rilevante su cui, anche grazie al confronto con il *tutor*, sono stati formulati concetti teorici indispensabili per interagire mediante conoscenza con l’oggetto centrale della ricerca.

Il passaggio da una ricerca di tipo *esplorativo* ad una di tipo *esplicativo* ha accompagnato il passaggio dalla fase della definizione del problema della ricerca a quella dell’implementazione e definizione delle domande di ricerca (come già opportunamente definite nel precedente paragrafo 1.1.) consistenti, da un lato nella comprensione del contributo che la tecnologia e i modelli teorici esistenti afferenti l’ambito della tecnologia (*big data* in *primis*) e il management per la sicurezza delle infrastrutture possano offrire per

²⁴ Corbetta, P., 2003, *Metodologia e tecnica della ricerca sociale*, Il Mulino, Bologna.

²⁵ Nell’osservazione partecipante “*il ricercatore si limita ad osservare quello che accade nella realtà sociale*” (Corbetta, 2003, *op. cit.*, p. 58) senza interagire o influire l’oggetto osservato.

preservare la salubrità, ai fini della sicurezza, del patrimonio infrastrutturale italiano, e dall'altro sulla possibilità di proporre un modello teorico unico utile per migliorare la sicurezza e la qualità del patrimonio infrastrutturale italiano.

Il passaggio dalla concettualizzazione all'operationalizzazione della ricerca si evidenzia con la valutazione, selezione e *setup* dei metodi, tecniche e strumenti tipici della metodologia della ricerca sociale. A valle della indagine esplorativa per migliorare il *focus* del problema della ricerca, una *systematic literature review* (SLR) è stata realizzata per comprendere la letteratura esistente (articoli in rivista) relativa alla relazione tra *big data* e patrimonio infrastrutturale e verificare la presenza di modelli teorici e contributi per il miglioramento della sicurezza. La SLR, inoltre, consente di evitare la duplicazione di “*un impegno precedente nei confronti di qualsiasi modello teorico*” (Yin, 2005, p. 46; si veda anche Van Maanen et al., 1982, p. 16; Stake, 1983; Lincoln e Guba, 1986; Jacob, 1987, 1989)²⁶. Sotto la lente metodologica, una *review* della letteratura costituisce una componente essenziale di quasi tutti i progetti di ricerca ed è necessaria per progredire la conoscenza, facilitare lo sviluppo della teoria, chiudere aree di ricerca mature e scoprire nuove aree di ricerca (Fisch, Block, 2018, p. 103; Webster, Watson, 2002)²⁷. Partendo da un approccio generalista (*literature review*) per poi procedere ad una sua sistematizzazione (passando, quindi, alla SLR), nel presente lavoro si è deciso di acquisire i sei *steps* metodologici proposti da Fisch, Block (2018).

²⁶ Yin, R.K., 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica*, Armando, Roma, trad. it. a cura di Pinelli, S. ISBN 88-8359-687-5; Van Maanen, J., Dabbs, J. M., Jr., Faulkner, R. R., 1982, *Varieties of qualitative research*, Sage Beverly Hills, CA; Stake, R.E., 1983, “*The case study method in social inquiry*”, in G. E Madaus, M. S. Scriven, D. L. Stufflehant (curr.), *Evaluation models*. Boston, Kluwer-Nijhoff, pp. 279-286; Lincoln, Y. S., Guba, E. G., 1986, *Naturalistic inquiry*, Sage, Beverly Hills, CA; Jacob, E., 1987, Qualitative research traditions: A review, in *Review of Educational Research*, 57, 1-50; Jacob, E., 1989, Qualitative research: A defense of traditions, in *Review of Educational Research*, 59, 229-235.

²⁷ Fisch, C., Block, J., 2018, *Six tips for your (systematic) literature review in business and management research*, *Management Quarterly*, 68, 103-106, doi: <https://doi.org/10.1007/s11301-018-0142-x>; Webster, J., Watson, R.T., 2002, *Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review*, *MIS Quarterly*, 26(2):xiii-xxiii.

Tab. 3 – I six tips per una corretta (systematic) literature review

Six tips of Fisch, Block (2018)	Definizione	Attuazione nel lavoro di tesi
1. <i>Motivare l'argomento e formulare la domanda di ricerca</i>	<i>Abstract</i> e introduzione costituiscono elementi fondamentali di qualsiasi lavoro di ricerca. La motivazione della scelta dell'argomento e del perché usare una SLR è elemento essenziale di tali sezioni. La domanda di ricerca costituisce al contempo un elemento essenziale.	Nel lavoro di tesi l'introduzione è stata destinata a definire il contesto, i problemi e le <i>research questions</i> . In aggiunta, la sezione metodologica è stata descritta al fine di rappresentare il come (natura, metodo e approccio della ricerca) e il perché.
2. <i>Identificare la letteratura rilevante in modo sistematico</i>	Una SLR deve essere trasparente e riproducibile. Il <i>setup</i> e le modalità con cui la SLR è realizzata devono essere opportunamente dettagliati, così come i criteri di <i>screening</i> .	Nella sezione 1.2. viene descritto e dettagliato l'approccio impiegato nell'attuazione della SLR così da rendere intelleggibili e replicabili i risultati.
3. <i>Scegliere il giusto equilibrio tra ampiezza e profondità</i>	Una SLR deve integrare gli studi più rilevanti descrivendo gli studi importanti ma deve soffermarsi solo su quelli più rilevanti in modo più dettagliato. Tabelle e figure sono consigliabili per una sintesi che contribuisca ad equilibrare tra ampiezza e profondità.	Nel presente lavoro sono stati selezionati i più rilevanti lavori per la definizione della conoscenza rispetto alle tematiche dei <i>big data</i> e applicati alle infrastrutture.
4. <i>Concentrarsi sui concetti, non sugli studi</i>	Concentrarsi maggiormente sui concetti piuttosto che sugli studi, aiuta il ricercatore a meglio identificare i dibattiti di ricerca. In questo modo dalla SLR emergerà un lavoro più solido che può portare a creare un nuovo quadro concettuale.	La SLR realizzata nel presente capitolo ha chiarito il quadro di conoscenza della letteratura (e dei relativi concetti) sulla relazione tra i <i>big data</i> e le infrastrutture. Ciò ha consentito la individuazione dei principali dibattiti attorno ai quali si è mossa la ricerca e a definire, pertanto, le prevalenti teorie manageriali oggetto del <i>theoretical background</i> (cap. 2)
5. <i>Trarre conclusioni significative</i>	È essenziale fare un passo avanti rispetto alla letteratura precedente sintetizzando e interpretando le conoscenze emerse dall'analisi dei concetti frutto della SLR. Tipica domanda in linea con ciò è: cosa impariamo da questo riassunto? Implicazioni, lacune in letteratura e future direzioni di ricerca dovrebbero essere evidenziate.	Dall'analisi della SLR, ovvero dei concetti e delle discussioni fondanti attorno alle tematiche oggetto di ricerca, sono stati evidenziati gli spazi vuoti che rappresentano lo spazio entro il quale destinare sforzi di ricerca per tentare di contribuire alla produzione di conoscenza. Tali spazi, costituiscono il fattore da cui deriva l'originalità del presente lavoro
6. <i>Segui una struttura coerente dell'articolo</i>	La coerenza rappresenta la crucialità di qualsiasi lavoro di ricerca. L'introduzione del lavoro motiva l'argomento e descrive i contributi della revisione della letteratura. La successiva sezione descrive il processo di revisione sistematica. Successivamente, sintesi e interpretazione dei risultati sono proposti. Da questa sezione ne derivano le proposizioni di ricerca o di costruzione di un modello concettuale. La sezione finale fornisce una conclusione e discussione con i confini della revisione e le future aree di ricerca. L'ordine non è statico.	Nel presente lavoro, il principio della coerenza ha guidato la costruzione strutturale nel suo complesso. Tuttavia, quella caratterizzante la SLR e la strutturazione dei contenuti dei risultati è stata fondamentale per la creazione delle successive sezioni (con i relativi contenuti). Dalle risultanze della SLR, infatti, il <i>theoretical background</i> è stato definito e descritto, e il modello teorico proposto è stato implementato. Discussioni, implicazioni e future opportunità di ricerca sono state descritte e riportate nella sezione conclusiva del secondo capitolo.

Fonte: tratto e adattato da Fisch, Block, 2018

La SLR ha consentito, come si vedrà nel successivo par.1.2.1., la definizione di un *set* di fonti note (39 *journal papers* pubblicati in *high ranked journals*) a carattere internazionale con cui sono stati definiti e perfezionati sia il problema della ricerca (cfr par. 1.1.), sia le domande di ricerca (RQ1 e RQ2) e, mediante metodo deduttivo, il *theoretical background*. Da quest'ultimo e mediante la tecnica *snowball*" (Huff, 2009)²⁸, che prevede l'impiego "*in itinere e a ritroso, rispetto alla letteratura di partenza, di fonti pertinenti e accademicamente*

²⁸ Huff, A.S., 2009, *Designing research for publication*, Sage, London.

rilevanti e altamente reputate” (Binci, 2016, p. 13)²⁹, ovvero attraverso le risultanze della SLR congiuntamente ad una attenta selezione di aree tematiche in linea con il tema e gli obiettivi di ricerca, è stato definito un *theoretical framework* esplicativo di fenomeni reali attinenti l’area dei *big data* e delle infrastrutture.

Ulteriore fase metodologica, maggiormente pragmatica, consiste nella trattazione di un *multiple case study* illustrato mediante l’impiego della metodologia del *business case study* (Yin, 1983)³⁰. I casi oggetto di indagine attengono all’oggetto della ricerca e sono stati selezionati in quanto, in perfetta armonia con il portato dottrinale metodologico, garantiscono il cosiddetto “mantenimento di una catena di prove” (Yin, 2003; Pinelli, 2005; Perano, Cerrato, 2017)³¹. Tali casi esaminati riguardano il progetto AINOP (Archivio Informativo Nazionale delle Opere Pubbliche) prodotto dal Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili e il progetto ARGO sviluppato da Autostrade per l’Italia (che coinvolge Autostrade, Fincantieri e IBM), pensati per implementare il sistema di controlli hi-tech delle infrastrutture.

La sovrapposizione del potenziale contributo del modello teorico sul *multiple case study* (cfr. Cap. 3), è presentata nel capitolo quarto come conclusione del presente lavoro di tesi.

Per quanto attiene alla metodologia, come già rappresentato, nel presente lavoro è stata impiegata una metodologia di ricerca di tipo qualitativo. La scelta del metodo qualitativo si fonda sull’opportunità di investigare un fenomeno inerente alla mia attività professionale con lo sforzo di creare un *match* tra prassi e teorie. Specifici accadimenti e tematiche di mio specifico interesse professionale e argomenti inerenti alle più significative teorie manageriali e tecnologiche, costituiscono i due oggetti in relazione nella presente ricerca.

1.2.1. Systematic Literature Review (SLR)

La revisione della letteratura rappresenta un approccio valido e condiviso anche nella stesura della tesi di dottorato per strutturare l’area di ricerca oggetto del lavoro (Easterby-Smith et al., 2002)³². Tale approccio metodologico aiuta a identificare il contenuto concettuale dell’area di ricerca (Meredith, 1993)³³ e a fornire una guida verso lo sviluppo della teoria. L’approccio impiegato per la realizzazione della ricerca sistematica della letteratura ha seguito un percorso partito da risultati di carattere più generale (con numerosità alta) per poi giungere

²⁹ Binci, D., 2016, *Innovazione e cambiamento. Struttura, tecnologia, competenze e leadership tra innovazione tradizionale ed innovazione aperta*, FrancoAngeli, Milano.

³⁰ Yin, R.K., 1983, *The case study method: An annotated bibliography*, Cosmos Corporation, Washington D.C.

³¹ Yin, R.K., 2003, *Case Study Research: Design and Methods*, Sage, Thousand Oaks, California; Pinelli, S., 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica: progetto e metodi*, Armando, Roma, Perano, M., Cerrato, R., 2017, *Il bilancio sociale tra pianificazione strategica e co-creazione di valore. Il caso dell’Università di Salerno*, Giappichelli, Torino.

³² Agrawal, S., Singh, R.K., Murtaza, Q., 2015, *A literature review and perspectives in reverse logistics, Resources, Conservation and Recycling*, 97(April), 76-92.

³³ Meredith, J., 1993, *Theory building from conceptual methods*, *International Journal of Operation & Production Management*, 13(5), 3-11.

ad una più puntuale focalizzazione (con numerosità più bassa) grazie alla definizione e impiego di norme e regole di selezione con le quali il processo si è migliorato secondo la logica *learning by doing*.

Il primo *step* ha riguardato l'avvio della ricerca sul *db* SCOPUS utilizzando una stringa che contemplasse le due aree oggetto di interesse: *big data* e *infrastrutture*. Le due aree sono state meglio specificate con l'assegnazione al termine "*big data*" di sotto-termini quali "*Artificial Intelligence*", "*Internet of Things*", "*Cloud*"; mentre la seconda area di ricerca è stata arricchita con sotto-termini oggetto dell'indagine quali "*autostrade*", "*ponti*", "*strade*" e "*tunnel*".

Il *db* impiegato ai fini della ricerca è stato SCOPUS senza impostazione di finestre temporali. Le *keywords* utilizzate per la ricerca, mediante l'impiego di operatori booleani, sono state due principali attorno alle quali sono state aggiunte delle "periferiche": *big data* (con *Internet of Things*, *Cloud*, *Artificial Intelligence*, *data analytics*, *machine learning* e *data science*) e *infrastrutture* (con specificità autostrade, ponti, strade e tunnel). Tale indagine ha dato un risultato di n=959 documenti. Da tale generalizzazione sono stati applicati filtri logici come ad esempio la selezione delle fonti (solo *articles* con l'esclusione di *conference proceedings*, *conference review*, *review* e *book chapters*.) e solo in lingua inglese. L'applicazione di tali filtri ha determinato una diminuzione della numerosità dei documenti che si sono ridotti a n=232. Si è notata una generalizzazione troppo ampia e inclusiva di tematiche non coerenti con l'oggetto della ricerca³⁴ e per tale motivo si è deciso di integrare nella stringa, il termine "*infrastructure*" con l'utilizzo degli operatori booleani dapprima "AND" e successivamente "OR". La stringa derivante da tale ulteriore miglioramento è la seguente:

```
(TITLE-ABS-KEY ("big data" AND ("Internet of things" OR "cloud" OR "Artificial Intelligence" OR "data analytics" OR "machine learning" OR "Data science") ) AND TITLE-ABS-KEY (infrastructure AND ("road" OR "tunnel" OR "Highways" OR "Bridges") ) ) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final") OR LIMIT-TO (PUBSTAGE, "aip") ) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") ) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") ) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j") )
```

In seguito a questa successiva selezione, la SLR ha generato un *follow-up* di N=64 *papers*.

³⁴ Molti risultati, infatti, riguardavano l'area medica con prodotti di ricerca che riportavano l'utilizzo della tecnologia negli interventi di tunnel carpale o ponti nel campo cardiocirurgico.

Tab. 4 – Follow-up SLR n=64

N.	Authors	Year	Source title	Author Keywords
1	Kato K., Miyazaki H., Soma T., Takagi M.	2015	NEC Technical Journal	Big data; Cloud computing; Failure prediction; Machine learning; System invariant analysis technology
2	Cuzzocrea A.	2015	International Journal of Business Process Integration and Management	Big data; Data warehousing; OLAP; OLAPing big data; Warehousing big data
3	Šemanjski I.	2015	Promet - Traffic – Traffico	Big data; Boosting trees; Data fusion; Forecasting travel times; K-nearest neighbours; Random forest; Support vector machines
4	Hashiguchi N., Tohno M.	2015	Fujitsu Scientific and Technical Journal	Automobile drivers; Road vehicles; Roads and streets; Safety engineering; Traffic control; Data aggregation; Drive recorders; Functional components; Road infrastructures; Road traffic safety; Road traffic system; Sensing technology; Transport efficiency; Digital storage
5	Duarte A.M.S., Psomopoulos F.E., Blanchet C., Bonvin A.M.J.J., Corpas M., Franc A., Jimenez R.C., de Lucas J.M., Nyrönen T., Sipos G., Suhr S.B.	2015	Frontiers in Genetics	Big Data; Cloud computing; E-infrastructures; Grid computing; Life sciences
6	Sadiq A., El Fazziki A., Ouarzazi J., Sadgal M.	2016	SpringerPlus	Air quality management; Artificial neural networks; Dijkstra algorithm; Hadoop; Multi-agent systems; Traffic regulation and recommendation
7	Li Z., Yang C., Liu K., Hu F., Jin B.	2016	ISPRS International Journal of Geo-Information	Big data; Cloud computing; Geoprocessing; Geospatial cyberinfrastructure; Hadoop
8	Beeharry Y., Fowdur T.P., Hurbungs V., Bassoo V., Ramnarain-Seetohul V.	2017	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics	Analytic tools; Big data; Transportation
9	Louhghalam A., Akbarian M., Ulm F.-J.	2017	Journal of Cleaner Production	Big data analytics; Greenhouse gas emissions; Network analysis; Pavement-vehicle-interaction; Power-law distribution
10	Aziz Z., Riaz Z., Arslan M.	2017	Facilities	Asset management; Big Data; BIM; Data management; Facilities management; Highways management
11	Alam M., Ferreira J., Mumtaz S., Jan M.A., Rebelo R., Fonseca J.A.	2017	IEEE Vehicular Technology Magazine	Real-time systems, Logic gates, Smart cities, Smart cameras, Monitoring, Intelligent sensors, Public transportation, Traffic control, Big Data
12	Park S., Jayaraman S.	2017	Journal of the Textile Institute	Big Data; Internet of People; Internet of Things; Internet-O-Dynamics; Jacquard; meta-wearable; smart textiles; wearable motherboard; wearables
13	El Fazziki A., Benslimane D., Sadiq A., Ouarzazi J.,	2017	IEEE Access	Air quality management; crowd-sourcing; Dijkstra algorithm; mobile sensors;

	Sadgal M.			pollution prediction; traffic regulation
14	Jalali R., Koohi-Fayegh S., El-Khatib K., Hoornweg D., Li H.	2017	Urban Planning	Emission reductions; Ridesharing; Spatiotemporal data mining; Trajectory clustering; Trajectory mining
15	Hussain M.M., Alam M.S., Beg M.M.S.	2018	Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy	Battery swap station (BSS); Big data analytics; Cloud computing; Fog computing; Intelligent transportation system (ITS); Internet of things (IoT)
16	Bermudez-Edo M., Barnaghi P., Moessner K.	2018	Automation in Construction	Correlation; Entropy; Internet of things; Smart cities
17	Habibzadeh H., Boggio-Dandry A., Qin Z., Soyata T., Kantarci B., Mouftah H.T.	2018	IEEE Communications Magazine	Intelligent sensors, Smart cities, Sensor systems, Recommender systems, Data analysis, Big Data
18	Husek N.	2018	Statistical Journal of the IAOS	administrative data; big data; data analytics; data quality; Official statistics
19	Wang T., Bhuiyan M.Z.A., Wang G., Rahman M.A., Wu J., Cao J.	2018	IEEE Communications Magazine	Monitoring ,Big Data, Cloud computing, Computational modeling, Mathematical model, Smart cities
20	Iqbal R., Butt T.A., Shafique M.O., Talib M.W.A., Umer T.	2018	IEEE Access	Context-aware computing; data driven intelligence; fog computing; Internet of Vehicles
21	Shi Y., Wu H.	2018	Journal of Computers (Taiwan)	Data aggregation; Machine leaning; Road functionality detection; VANETs
22	Yang X., Tang L., Niu L., Zhang X., Li Q.	2018	Transportation Research Part C: Emerging Technologies	Big data; Crowdsourcing trace; Lane-based intersection map; Multi-level strategies method; Road network
23	Badii C., Bellini P., Difino A., Nesi P.	2019	Sensors (Switzerland)	IoT applications; IoT applications; Mobility; Mobility; Safety critical; Safety critical; Smart city; Smart city
24	Nallaperuma D., Nawaratne R., Bandaragoda T., Adikari A., Nguyen S., Kempitiya T., De Silva D., Alahakoon D., Pothuhera D.	2019	IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems	concept drift; deep learning; deep reinforcement learning; impact propagation; Smart traffic management; social media analytics; traffic control; traffic forecasting; traffic optimization; unsupervised incremental learning
25	Jeong S., Hou R., Lynch J.P., Sohn H., Law K.H.	2019	Structure and Infrastructure Engineering	bridge information modelling; bridge monitoring; Cloud computing; interoperability; scalability; web services
26	Garg S., Singh A., Kaur K., Aujla G.S., Batra S., Kumar N., Obaidat M.S.	2019	IEEE Network	Internet of Things, Edge computing, Computational modeling, Cloud computing, Smart cities, 5G mobile communication, Data processing, Big data
27	Han S., Wang X., Zhang J.J., Cao D., Wang F.-Y.	2019	IEEE Internet of Things Journal	Cyber-social-physical system (CPSS); Internet of Vehicles (IoV); parallel system; social networks
28	Zhang C., Patras P., Haddadi H.	2019	IEEE Communications Surveys and Tutorials	5G systems; Deep learning; machine learning; mobile big data; mobile networking; network management; wireless networking
29	Wu Q., Xia S., Fan Q., Li Z.	2019	Electronics	Continuous backoff freezing; IEEE

			(Switzerland)	802.11p; IoV; Packet delay; Packet delivery ratio
30	Marino C.A., Marufuzzaman M.	2020	Computers and Industrial Engineering	Big data; Microgrid; Spark streaming; Stochastic optimization; Sustainability; Wind power
31	Uslu B.Ç., Okay E., Dursun E.	2020	Journal of Cloud Computing	IoT; IoT layers; Smart hospital; Smart hospital design
32	Ayele Y.Z., Aliyari M., Griffiths D., Droguett E.L.	2020	Energies	Crack detection; Crack segmentation; Damage assessment; Drone-assisted bridge inspection; Performance analysis; UAV
33	Sandeep V., Honagond P.V., Pujari P.S., Kim S.-C., Salkuti S.R.	2020	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	Big data; ICT infrastructure; Internet of things; Smart cities; Smart meters; Urban communities
34	Layton P.	2020	Small Wars and Insurgencies	artificial intelligence; Belt and Road Initiative (BRI); big data; Peoples Liberation (PLA); Private security companies; State Owned Enterprise (SOE); urban surveillance
35	Steyn W.J.M.	2020	International Journal of Pavement Research and Technology	Digital twins; Hyper-connected pavement; Intelligent infrastructure
36	Stevens N.-A., Lydon M., Marshall A.H., Taylor S.	2020	Sensors (Switzerland)	Bridge management systems; Markov chains; Structural health monitoring; Survival analysis
37	Rouland Q., Hamid B., Jaskolka J.	2020	Future Generation Computer Systems	Communication; Component; Connector; Formalization; Meta-modeling; Reuse
38	Ftaimi S., Mazri T.	2020	Advances in Science, Technology and Engineering Systems	Autonomous vehicle; Big Data; Intelligent transportation system; Machine learning algorithms; Smart city; Support Vector Machine; Vehicular Adhoc network
39	Huang T., Wang S., Sharma A.	2020	Accident Analysis and Prevention	Crash detection; Crash prediction; Deep learning
40	Hoseinzadeh N., Liu Y., Han L.D., Brakewood C., Mohammadnazar A.	2020	Computers, Environment and Urban Systems	Big data; Bluetooth; Crowdsourced data; Location-based data; Smart cities; Surface streets; Waze
41	Wei S., Bao Y., Li H.	2020	Structural Safety	Bridge maintenance policy; Convolutional neural network (CNN); Deep Q-network (DQN); Deep reinforcement learning (DRL); Markov decision process (MDP)
42	Koot M., Mes M.R.K., Iacob M.E.	2021	Computers and Industrial Engineering	Big Data Analytics; Decision making; Internet of Things; Supply chain management; Systematic literature review
43	Ardagna C.A., Bellandi V., Damiani E., Bezzi M., Hebert C.	2021	Computers and Electrical Engineering	Artificial intelligence; Big Data Analytics; Machine learning; Security and privacy
44	Prakash G., Yuan X.-X., Hazra B., Mizutani D.	2021	Journal of Nondestructive Evaluation, Diagnostics and Prognostics of Engineering Systems	continuous and periodic condition assessment; diagnostic feature extraction; online diagnostic approaches

- 45 Dong J., Meng W., Liu Y., Ti J. 2021 Advanced Engineering Informatics Collaborative system; IoT; Pavement management system; Road maintenance
- 46 Flah M., Nunez I., Ben Chaabene W., Nehdi M.L. 2021 Archives of Computational Methods in Engineering of Structural health monitoring, machine learning, internet of things, big data, emerging technologies
- 47 Dautov R., Distefano S., Bruneo D., Longo F., Merlino G., Puliafito A. 2021 Concurrency and Computation: Practice and Experience cloud computing; clustered edge computing; data agility; edge computing; internet of things; stream processing
- 48 Duggal A.S., Singh R., Gehlot A., Gupta L.R., Akram S.V., Prakash C., Singh S., Kumar R. 2021 Technology in Society Artificial intelligence (AI); Big data; Digitalization; Electric vehicles (EV); Machine learning (ML); Mobility; Sustainability
- 49 Cheng C.-F., Srivastava G., Lin J.C.-W., Lin Y.-C. 2021 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Fault-tolerant consensus protocol; Internet of vehicles; software-defined networks
- 50 Faridoon A., Imran M. 2021 Computing Informatics and Big data; NoSQL databases; Storage tools; Systematic literature review
- 51 Sahil, Sood S.K. 2021 Internet of Things (Netherlands) Advanced driver assistive technologies (ADAT); Big data; Cloud computing; Edge computing; Internet of things (IoT); Urbanization; V2I (Vehicle to infrastructure) communication; Vehicular ad hoc network (VANET)
- 52 Song Y., Wu P., Li Q., Liu Y., Karunaratne L. 2021 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Australia; intelligent transportation systems; Maintenance engineering; Meteorology; Road infrastructure; Roads; Rough surfaces; Seals; smart transportation infrastructure; spatial analysis; spatial big data; Surface roughness; sustainable infrastructure development.
- 53 Biyık C., Abareshi A., Paz A., Ruiz R.A., Battarra R., Rogers C.D.F., Lizarraga C. 2021 Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity Cities; Opportunities; Smart mobility; Smart mobility; Smart mobility; Trends
- 54 Perafan-Villota J.C., Mondragon O.H., Mayor-Toro W.M. 2021 IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Accident detection; big data; convolutional neural network; fast processing; Hadoop; Intersection over Union (IoU); Kalman filter; multi-tracking; smart cities; Spark; You Only Look Once (YOLO).
- 55 Yan G., Chen Y. 2021 Wireless Communications and Mobile Computing Decision support systems; Deep learning; Fault tolerance; Graph neural networks; Intelligent systems; Intelligent vehicle highway systems; Smart city; Virtual reality; Decision supports; Intelligent traffics; Intelligent transportation systems; Neural network model; Traffic data; Traffic flow; Traffic scheduling; Traffic volumes; Transportation infrastructures; Virtual reality technology; Big data

56	Vegge T., Tarascon J.-M., Edström K.	2021	Advanced Materials	Energy	AI; batteries; interfaces; multisensory; self-healing
57	Wang J., Boukerche A.	2021	Computer Networks		Deep learning; Intelligent Transportation System; Non-parametric model; Optimization algorithm; Road traffic prediction; Time-series
58	Yue W., Li C., Mao G., Cheng N., Zhou D.	2021	China Communications		communication and computation capability; congestion detection; road traffic congestion control; sensing techniques; traffic signal control; vehicle route guidance
59	Resor E., Legovini A., Milusheva S., Marty R., Bedoya G., Williams S.	2021	PLoS ONE		Article; city planning; geographic and geological phenomena; geolocation; Kenya; machine learning; mortality rate; social media; support vector machine; traffic; trend study
60	Milusheva S., Marty R., Bedoya G., Williams S., Resor E., Legovini A.	2021	PloS one		city planning; human; Kenya; machine learning; motorcycle; procedures; social media; traffic accident; Accidents, Traffic; City Planning; Humans; Kenya; Machine Learning; Motorcycles; Social Media
61	Gu T., Zhang P., Zhang X.	2021	Chinese Geographical Science		China; development potential; driving mechanism; new infrastructure construction; spatio-temporal evolution
62	Čolić P., Jakovljević M., Vidović K., Šoštarić M.	2022	Sustainability (Switzerland)		Anonymized telecom data; Big data analytics; Driver distraction; Mobile phone usage
63	Zhang Z., Zaman A., Xu J., Liu X.	2022	Accident Analysis and Prevention		Artificial Intelligence; Computer vision; Railroad safety; Risk management; Trespassing
64	Lasaponara R., Abate N., Masini N.	2022	IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters		Big data; Copernicus; Google earth engine (GEE); Remote sensing for archeology; Sentinel 1 (S-1); Sentinel 2 (S-2)

Le risultanze di tale approccio hanno consentito di avere un quadro chiaro su ciò che ad oggi è stato pubblicato su tale tematica specifica (a supporto della RQ1) e su quali modelli teorici esistenti in letteratura (a supporto della RQ2). La successiva *overview* delle teorie tecnologiche e manageriali è stata supportata dal precedente *step* e le risultanze, compresa la proposta di un modello teorico unico (a completamento della RQ2), sono riportate nel capitolo 2. Creswell (2007)³⁵ propone una rappresentativa *overview* della metodologia di ricerca sociale qualitativa in cui sono stati descritti cinque principali approcci: ricerca narrativa, fenomenologica, etnografica, *case study* e, infine, teoria fondata. Seguendo tale prospettiva, l'approccio impiegato nella tesi attiene alla ricerca fenomenologica trattando, il presente lavoro, di un fenomeno di particolare interesse: l'attenzione alla sicurezza con riferimento al patrimonio infrastrutturale italiano.

³⁵ Creswell, J. W. 2007, *Qualitative Inquiry & Research Design: Choosing among Five Approaches*. 2nd [rev.] ed. Sage, Thousand Oaks, CA.

1.3. Il contesto della ricerca: il patrimonio infrastrutturale italiano

Il contesto della ricerca, come già indicato nel precedente paragrafo, si individua nel sistema infrastrutturale italiano, con particolare focalizzazione sul sistema viario nazionale.

Le infrastrutture, secondo consolidata letteratura, possono essere distinte in economiche e sociali (Hansen, 1965)³⁶ in base all'impatto economico diretto e indiretto che determinano su uno specifico territorio. Le prime (infrastrutture di tipo economico) supportano in modo diretto le attività produttive e possono essere identificate in acquedotti, aeroporti, autostrade, impianti di irrigazione e strade, reti di distribuzione energetica, strutture per il trasferimento delle merci e trasporto navale. Le seconde, infrastrutture di tipo sociale, quali, in via esemplificativa edilizia pubblica, impianti sportivi, sanitari e scolastici, favoriscono direttamente l'accrescimento del benessere sociale e influiscono indirettamente sulla produttività economica (Hansen, 1965)³⁷.

1.3.1. Il Sistema viario nazionale

La rete viaria nazionale rappresenta l'infrastruttura essenziale per assicurare, anche in chiave di sostenibilità, il trasporto di merci e il diritto alla mobilità dei "cittadini".

La stessa (stradale e autostradale) si snoda per circa 840.000 km, ed è gestita essenzialmente tra 3 tipologie di enti:

- 1. Società Concessionarie Autostradali tra cui ricomprendere ANAS S.p.A. esclusivamente per la parte le Autostrade e i Raccordi Autostradali di competenza;
- 2. ANAS S.p.A. per le Strade Statali;
- 3. Enti territoriali, quali Regioni, Province, Città Metropolitane e Comuni.

Un'analisi di dettaglio della rete stradale primaria, con esclusione di quella gestita dagli enti comunali, evidenzia, che, al 31 dicembre 2019³⁸, la stessa si sviluppa per circa 6.977 km di rete autostradale (inclusa la parte in gestione ad Anas S.p.a.). In considerazione delle caratteristiche morfologiche del territorio nazionale, ben più rilevante è l'estensione della rete stradale, che rappresenta circa l'82% del patrimonio viario nazionale complessivo e che si sviluppa per ulteriori 23.305 km di strade di interesse nazionale, in gestione ad ANAS, e per oltre 137.283 km di strade provinciali e regionali.

³⁶ Hansen, N.M., 1965, *The structure and determinants of local public investments expenditures*, *Review of Economics and Statistics*, 42(2), 150-162.

³⁷ Hansen, N. M., 1965, *The structure and determinants of local public investment expenditures*, *Review of economics and statistics*, 2, 150-162.

³⁸ Dati risultanti dall'ultima edizione disponibile del Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Mobilità Sostenibili, Direzione Generale per la digitalizzazione, i Sistemi Informativi e Statistici del Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili, relativamente agli anni 2019-2020 (ed.2020).

Tab. 5 – Estensione stradale italiana anni 1990, 2000, 2010, 2014-2019

Estensione stradale italiana - Anni 1990, 2000, 2010, 2014-2019									
<i>Chilometri</i>									
	1990	2000	2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Autostrade	6.185	6.478	6.668	6.844	6.943	6.943	6.943	6.966	6.977
Altre Strade di interesse nazionale	44.742	46.556	20.856	19.894	21.686	20.786	22.399	23.335	23.305
Regionali e Provinciali	98.396	102.076	146.280	143.047	143.053	142.632	142.139	135.691	137.283
TOTALE	149.323	155.110	173.804	169.785	171.682	170.361	171.481	165.992	167.565
<i>Fonte: elaborazione Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili su dati Aiscat, Anas ed indagine diretta presso le Regioni e le Provincie</i>									

Fonte: Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile

Se a tale dato si volesse aggiungere anche quello relativo all'estensione delle strade rilevato presso i Comuni Capoluogo di Provincia, pari a 67.927 chilometri, il totale per l'anno 2019 ammonterebbe a 235.492 chilometri.

Vi è poi una consistente quota dell'ambito stradale classificabile come strade extraurbane secondarie che ricadono, per lo più e secondo la vigente normativa, sotto la competenza di enti provinciali.

La siffatta tipologia di viabilità riesce a soddisfare mobilità/trasporto nel breve raggio unendo, al contempo, centri principali, capoluoghi di provincia, alle restanti aree abitate/rurali.

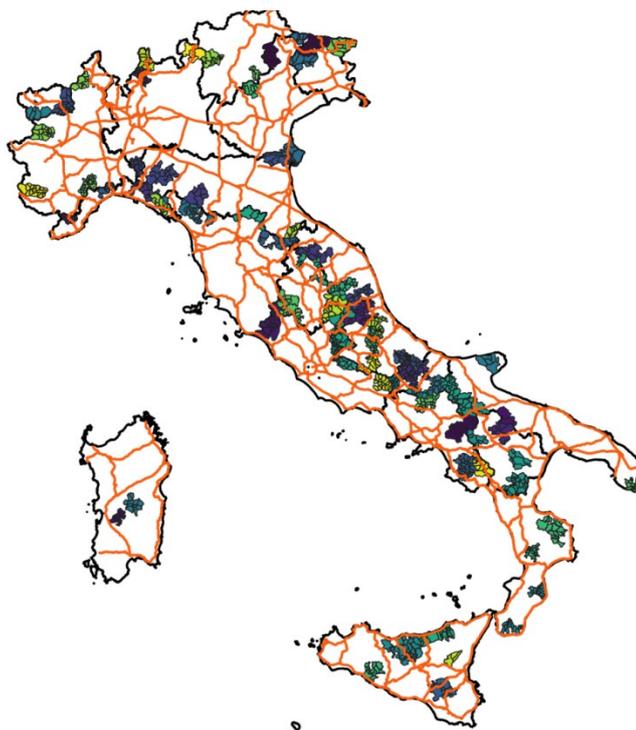
Infine, relativamente alle ulteriori strade comunali, con esclusione di quelle rilevate presso i Comuni Capoluogo di Provincia, i dati riguardanti l'estensione chilometrica delle stesse, sono disponibili parzialmente e desumibili mediante l'acquisizione di informazioni da diverse fonti³⁹. Tale patrimonio stradale risulta avere una estensione di circa 600 mila Km.

Dalle immagini seguenti, realizzate attraverso mappe di geografia funzionale, si può invece facilmente evidenziare come la rete stradale primaria formi un reticolo che collega essenzialmente i grandi centri, o al più alcune delle aree cittadine e periferiche, anche rafforzando il reticolo ferroviario, mentre le aree interne del Paese sono di fatto servite e messe in relazione, tra loro quanto con i centri (di solito i capoluoghi di provincia) erogatori dei servizi principali (ospedali, scuole secondarie, servizi alla persona, etc.), unicamente dal reticolo formato dalle strade provinciali.

³⁹ Dati e informazioni tratti/e dalle seguenti fonti:

- Relazione annuale sulla sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali, ed. 2021, anno 2021;
- Ministero dell'Interno - Dipartimento per gli Affari Interni e Territoriali - Certificati Consuntivi dei singoli Comuni riguardanti il precedente modello di bilancio, e pertanto aggiornati al 2015;
- Singoli Comuni, laddove gli stessi abbiano istituito il Catasto delle Strade o abbiano inserito tali dati nei Documenti Unici di Programmazione.

Fig. 2 – Il sistema viario nazionale



Fonte: unione province d'Italia; rete viaria principale (SNIT)

1.3.2. La rete viaria di interesse nazionale ANAS

Anas rappresenta il secondo gestore nazionale per la rete autostradale come rilevabile dalla sottostante fig. 3.

Fig. 3 – Rete stradale ANAS



Fonte: www.stradeanas.it

Anas gestisce in modo diretto le strade e autostrade elencate nel Dlgs n.461 del 29/10/1999 e ss. mm. ii. In aggiunta a ciò, sotto la gestione Anas ricadono anche talune

strade rientranti nell'area geografica delle Regioni con statuto speciale (Sicilia e Sardegna) non afferenti alla rete stradale e autostradale nazionale indicata nel succitato decreto.

In particolare, tale rete viaria di interesse nazionale comprende "31.961,463 km di strade statali e di autostrade, svincoli e strade di servizio".

Tab. 6 – Rete viaria di interesse nazionale gestione ANAS

RETE VIARIA DI INTERESSE NAZIONALE GESTITA DA ANAS	KM DI RETE IN ESERCIZIO
Autostrade in gestione diretta	939,301
Raccordi autostradali	355,101
Strade statali	25.280,825
Strade in corso di classificazione o declassifica (NSA)	396,776
Svincoli e Complanari	5.003,790
TOTALE	31.975,793

Fonte: ANAS S.p.A., Gruppo FS italiane, www.stradeanas.it

1.3.3. La rete autostradale in concessione

La rete autostradale è regolata da Atti convenzionali di natura concessoria il cui assetto è stato modificato in ragione della necessità di recepire le modifiche normative consacrate in nuove in nuove pattuizioni economiche, operative e procedurali.

L'Organo preposto alla disciplina delle Convenzioni autostradali e degli Atti Aggiuntivi, oltre che alla revisione delle tariffe autostradali, è rappresentato dal Comitato interministeriale per la programmazione economica e lo sviluppo sostenibile (CIPESS)⁴⁰, il quale si avvale del supporto tecnico fornito dal NARS (Nucleo di Consulenza per l'Attuazione delle Linee Guida per la Regolazione dei Servizi di Pubblica Utilità). Le competenze inerenti ai profili tariffari sono state estese all'Autorità di Regolazione dei Trasporti (ART)⁴¹. Secondo la procedura prevista dalla normativa vigente, sulla base delle condizioni contemplate dall'art. 43, comma 1 del decreto legge 6 dicembre 2011, gli Atti convenzionali sono approvati, previa favorevole valutazione da parte del CIPESS, con decreto interministeriale del Ministro delle infrastrutture e della mobilità sostenibili di concerto con il Ministro dell'economia e delle finanze e registrati dalla Corte dei Conti. In presenza di profili rilevanti a livello eurounitario, in particolare in materia di concorrenza, è previsto il preventivo confronto con i corrispondenti Servizi della Commissione Europea. Il

⁴⁰ Ai sensi dell'art. 11, legge n. 498 del 23 dicembre 1992. Il 1° gennaio 2021 il Comitato interministeriale per la programmazione economica (CIPE) ha cambiato nome in Comitato interministeriale per la programmazione economica e lo sviluppo sostenibile (CIPESS).

⁴¹ Ai sensi dell'art. 16 del decreto legge 28 settembre 2018, n. 109, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1, comma 1, legge 16 novembre 2018, n. 130.

Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili a far data dal 01 ottobre 2012⁴² è subentrato ad ANAS S.p.A. nell'esercizio delle funzioni di soggetto concedente. In relazione alle opere regionali, i soggetti concedenti sono sia enti regionali che società partecipate da ANAS rispetto alle società che hanno come oggetto la progettazione e l'esecuzione delle stesse. La rete autostradale a pedaggio si sviluppa per 5.886,6 Km in esercizio ed è attualmente affidata in concessione, dal Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, a 22 società sulla base di 25 rapporti concessori. In particolare, si evidenzia che mentre le tratte autostradali ricadenti nel territorio della Lombardia, del Veneto e del Trentino, sono partecipate da enti locali, le altre società concessionarie sono riconducibili a una gestione privatistica facente capo a gruppi societari. Tra i rapporti concessori gestiti dal Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili rientrano i trafori internazionali (SITRASB, SITMB e SITAF), le cui Convenzioni sono regolate da trattati internazionali e gestite da Comitati Intergovernativi (CIG).

Tab. 7 – Concessioni rete stradale e autostradale

CONCEDENTE MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITA' SOSTENIBILI		
Direzione generale per le strade e le autostrade, l'alta sorveglianza sulle infrastrutture stradali e la vigilanza sui contratti concessori autostradali		
	SOCIETA'	KM DI RETE IN ESERCIZIO
1	ATIVA SpA	155,80
2	Autostrade per l'Italia SpA	2.857,50
3	Autostrada del Brennero	314,00
4	Autostrada Brescia – Verona – Vicenza – Padova SpA	235,60
5	Autovia Padana SpA	105,50
6	SALT SpA – tronco Autocisa	101,00
7	Autostrada dei Fiori SpA – tronco A10	113,30
8	CAS – Consorzio per le Autostrade Siciliane	298,40
9	Autovie Venete SpA	210,20
10	Milano Serravalle – Milano Tangenziali SpA	179,10
11	Tangenziale di Napoli SpA	20,20
12	RAV – Raccordo Autostradale Valle d'Aosta SpA	32,40
13	SALT SpA – tronco Ligure Toscano	154,90
14	SAT – Società Autostrada Tirrenica SpA	54,60
15	SAM – Società Autostrade Meridionali SpA	51,60
16	SATAP A4 Torino – Milano	127,00
17	SATAP A21 Torino – Piacenza	164,90
18	SAV – Società Autostrade Valdostane SpA	67,40
19	SITAF – Società Traforo Autostradale del Frejus SpA	82,50
20	Autostrada dei Fiori SpA – tronco A6	130,90
21	SITMB – Società Italiana Traforo del Monte Bianco SpA	5,80
22	SITRASB – Società Italiana Traforo Gran San Bernardo SpA	12,80
23	Strada dei Parchi SpA	281,40
24	Società Autostrada Asti – Cuneo SpA	55,70
25	CAV – Concessioni Autostradali Venete SpA	74,10
TOTALE		5.886,60

Fonte: Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

⁴² Con D.M. n. 314/2012 a seguito del processo di riorganizzazione delle funzioni previsto dall'art. 36 del D.L. n. 98 del 6 luglio 2011, come convertito, con modificazioni, dall'art. 1, comma 1, L. n. 111 del 15 luglio 2011.

Nel corso degli anni, in concomitanza con il progressivo incremento della domanda di traffico, sono stati eseguiti interventi di adeguamento delle sezioni autostradali con implementazione delle terze e quarte corsie. Le principali modifiche intervenute rispetto alla conformazione di primo impianto riguardano prevalentemente gli interventi di allargamento e collegamento alla rete locale, mediante la costruzione di adduzioni e raccordi.

Tab. 8 – Rete autostradale italiana (incluse gallerie con L>100m; Ponti e viadotti con L>100m e trafori internazionali)

RETE AUTOSTRADALE	Km 5.886,6 di cui
2 CORSIE	4.037,70
3 CORSIE	1.718,10
4 CORSIE	129
5 CORSIE	1,8
GALLERIE DI LUNGHEZZA SUPERIORE A 100 m (carreggiata destra + carreggiata sinistra)	Km 876,0
PONTI E VIADOTTI DI LUNGHEZZA SUPERIORE A 100 m (carreggiata destra + carreggiata sinistra)	Km 1.034,7
TRAFORI INTERNAZIONALI	N. 3

Fonte: Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

Inoltre, il panorama delle infrastrutture in concessione è completato da concessioni locali e da iniziative di diretta competenza regionale.

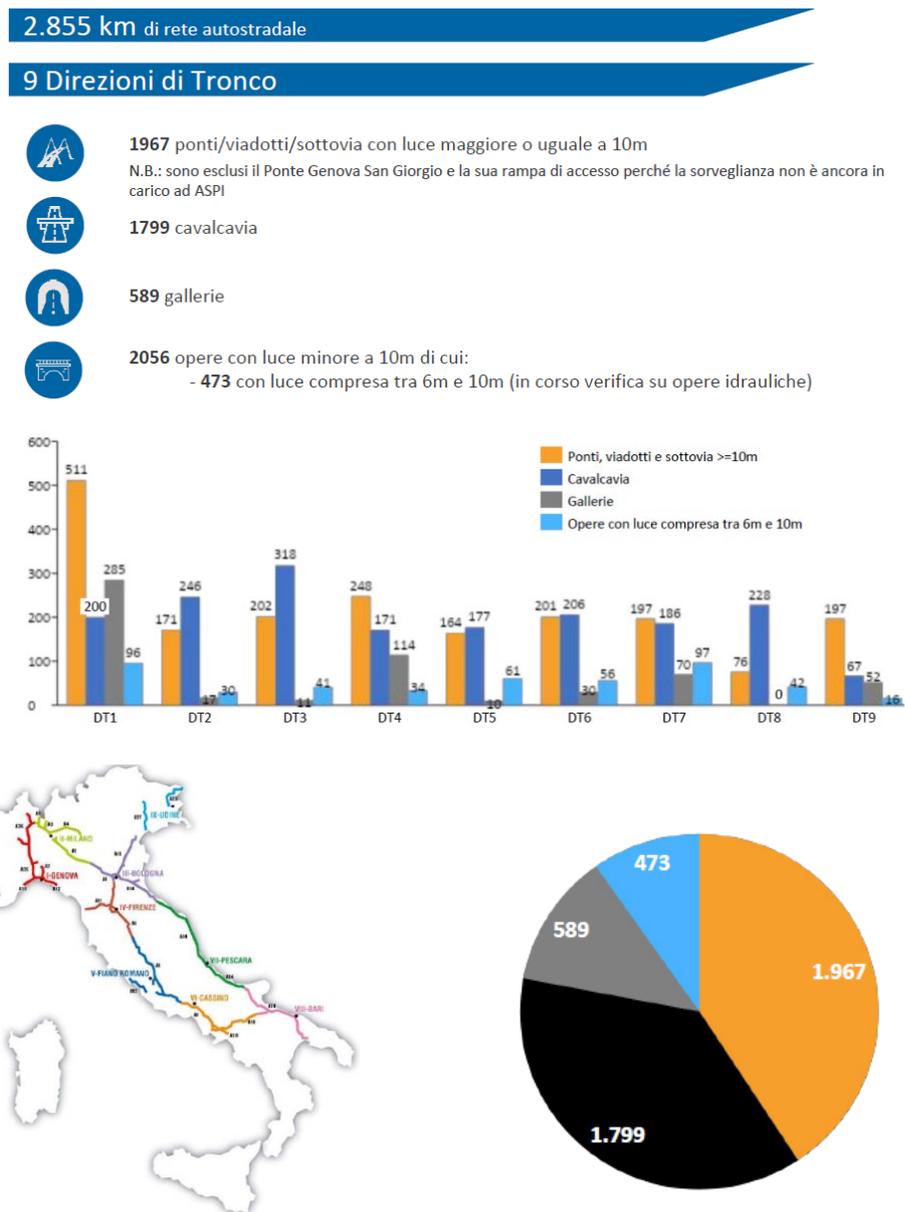
Tab. 9 – Società miste pubbliche ANAS e concessioni regionali

Società miste pubbliche (ANAS S.p.A. – Regioni)		
	SOCIETA'	KM DI RETE IN ESERCIZIO
1	AUTOSTRADA DEL LAZIO S.p.A. (ANAS S.p.A. – Regione Lazio) Roma – Latina Cisterna – Valmontone	112,00
2	AUTOSTRADA DEL MOLISE S.p.A. (ANAS S.p.A. – Regione Molise) 82 Termoli – San Vittore del Lazio	82,00
3	CAL S.p.A. - CONCESSIONI AUTOSTRADE LOMBARDE (ANAS S.p.A. – Regione Lombardia) Pedemontana Lombarda 41,5 Km in esercizio BRE.BE.MI. Brescia – Bergamo – Milano 62,1 Km in esercizio TEM Tangenziale Est Esterna di Milano 33 Km in esercizio	200,80
4	CAP S.p.A. – CONCESSIONI AUTOSTRADALI PIEMONTESE (ANAS S.p.A. – Regione Piemonte) Pedemontana Piemontese Tangenziale Est di Torino Collegamento Multimodale di Corso Marche Collegamento Autostradale Strevi Pedrosa	88,00
TOTALE		482,80
CONCESSIONI REGIONALI		
	SOCIETA'	KM DI RETE IN ESERCIZIO
1	CONCEDENTE INFRASTRUTTURE LOMBARDE SpA Cremona – Mantova Broni – Pavia – Mortara Interconnessione Pedemontana – BRE.BE.MI.	125,00
2	CONCEDENTE REGIONE VENETO Superstrada a pedaggio Pedemontana Veneta 6,6 Km in esercizio	94,60
TOTALE		219,60

Fonte: Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

In tale contesto, “Autostrade per l’Italia” rappresenta il primo gestore nazionale della rete a pedaggio. In particolare, il totale dei km gestiti dalla società, attualmente ammonta a 2.858 km di rete autostradale con 9 direzioni di tronco, 1967 tra ponti/viadotti/sottovia con luce \geq 10m, 1799 cavalcavia, 589 gallerie e 2056 opere con luce $<$ 10m di cui 476 con luce compresa tra 6m e 10m, come riportato nella sottostante fig. 4.

Fig. 4 – Rete di Autostrade per l’Italia



Fonte: Società Autostrade per l’Italia

1.3.4. Le opere d’arte infrastrutturali italiane

L’insieme delle opere d’arte (ponti, viadotti, attraversamenti, gallerie, etc.) costituenti la rete stradale italiana è difficilmente quantificabile e all’attualità non esiste un loro

censimento. Gli enti gestori difficilmente sono a conoscenza del patrimonio di opere d'arte che rientrano nella propria competenza. Al riguardo l'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali (ANSFISA)⁴³ evidenzia che *“non è stato possibile, al momento, indicare con la stessa attendibilità analoghe informazioni per le restanti strade gestite da Regioni, Province, Città Metropolitane e Comuni. Ciò rappresenta una macroscopica criticità del sistema che richiede, evidentemente, l'urgente completamento, secondo metodi uniformati a livello nazionale, del censimento e classificazione di tutte le opere gestite dai singoli soggetti proprietari/gestori, primo elemento necessario all'istaurarsi di idonei sistemi di gestione della sicurezza”*⁴⁴.

Al contrario Una più dettagliata conoscenza delle opere d'arte ricadenti nel patrimonio viario di competenza è rinvenibile in capo ai gestori di livello nazionale quali ANAS e Autostrade per l'Italia. Al riguardo, dai dati raccolti dalla citata Agenzia, circa il numero e l'estensione delle opere d'arte maggiori quali ponti, viadotti e gallerie, risultano 21.702 ponti e viadotti e 6.320 cavalcavia.

Inoltre, dai dati presenti nell'Archivio Informatico Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP), risultano censiti 26.300 ponti, viadotti e cavalcavia stradali.

Infine, dai dati raccolti presso il Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, si rileva che, in particolare, ANAS ha in gestione una rete stradale con circa 15.850 ponti e viadotti e 3.180 sovrappassi. Su tale rete è chiamata a svolgere periodiche attività ispettive. A seguito di specifica richiesta del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, ANAS ha esteso le attività di sorveglianza ed ispettive ad ulteriori 3 mila opere d'arte, la maggior parte delle quali di competenza di piccoli comuni.

Relativamente ad Autostrade per l'Italia, la società ha in gestione una rete stradale con 1.967 ponti/viadotti/sottovia con luce maggiore o uguale a 10 mt. a cui si aggiungono 1.799 cavalcavia e 2.056 opere con luce minore a 10 mt.

Lo stato del patrimonio infrastrutturale nazionale risalente alla metà del secolo scorso richiede, anche in ragione degli effetti impattanti connessi ad anomali eventi climatici sempre più frequenti, la programmazione nel medio e lungo periodo di lavori di manutenzione, messa in sicurezza, miglioramento, adeguamento e sostituzione delle opere d'arte. La corretta programmazione e l'adeguata esecuzione di tali opere è presupposto imprescindibile per assicurare un adeguato sviluppo socio-economico del Paese e l'azzeramento del rischio in termini di perdita di vite umane.

⁴³ L'articolo 12 del decreto legge 28 settembre 2018, n. 109, convertito con modificazioni dalla L. di conversione 16 novembre 2018, n. 130, istituisce e disciplina l'Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali, a decorrere dal 1° gennaio 2019. L'Agenzia ha il compito di promuovere e assicurare la vigilanza sulle condizioni di sicurezza del sistema ferroviario nazionale e delle infrastrutture stradali e autostradali.

⁴⁴ Relazione annuale sulla sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali, ed. 2021, anno 2021.

CAPITOLO 2

THEORETICAL BACKGROUND & FRAMEWORK

Sommario: 2.1. *Theoretical background*; 2.2. *Big Data & Analytics*; 2.2.1 *Caratteristiche e definizioni dei big data*; 2.2.2. *Blockchain*; 2.3. *Knowledge Management*; 2.3.1. *Processi e fasi del Knowledge Management*; 2.3.2. *La misurazione delle prestazioni del Knowledge Management*; 2.4. *Risk Management*; 2.5. *Service Quality*; 2.6. *Theoretical framework*.

2.1. *Theoretical background*

Le risultanze della SLR realizzata nel precedente capitolo hanno ispirato e guidato la caratterizzazione del *theoretical background* qui dettagliato. In particolare, nel perfezionamento del processo di ricerca, dalla SLR sono stati dedotti, congiuntamente con la contestualizzazione dei risultati nelle RQs, gli elementi costituenti la cornice teorica, ovvero il *theoretical background*. Da quest'ultimo ne deriva il modello teorico proposto nel presente lavoro. La cornice teorica consiste in una selezione e rappresentazione di “*tutte le ricerche, risultati o teorie precedenti*” (Haradhan, 2018, p. 29)⁴⁵ sulla tematica oggetto di interesse ed è elemento essenziale e ispiratore per il prosieguo delle fasi della ricerca.

Il primo elemento del *theoretical background* è l'ambito tecnologico: i *big data* e gli *analytics*. Il concetto di *smartness*, ovvero di intelligenza, include (per semplicità) da un lato una componente fisica (*hardware*, come ad esempio *devices*) che trasmette e che presuppone una non fisica (*software*), e un individuo che, seguendo dati comportamenti, opera scelte mediante l'utilizzo di tale componente fisica e una rete internet; dall'altro lato ci sono componenti fisiche (*hardware* come ad esempio sensori) che, mediante componenti non fisiche (*software*) agganciano dati e li raccolgono per poi processarli, o meglio, analizzarli per specifici scopi. I “*big data*” possono essere definiti come “*una filosofia problem-solving che sfrutta enormi set di dati e analisi algoritmiche*” (Hartzog, Selinger, 2013, p. 81)⁴⁶ per “*estrarre informazioni nascoste e correlazioni sorprendenti*” (Rubinstein, 2013, p. 74)⁴⁷. Tale ambito rappresenta, ai fini della presente ricerca, un fattore fondamentale per il miglioramento della sicurezza del patrimonio infrastrutturale (non solo) italiano e si giustifica dal momento che la *keyword* “*big data*” è stata impiegata come caratterizzante per la SLR (come si evidenzia anche dalla stringa impiegata nella ricerca).

⁴⁵ Haradhan, M., 2018, *Qualitative Research Methodology in Social Sciences and Related Subjects*, *Journal of Economic Development, Environment and People*, 7(1), 23-48.

⁴⁶ Hartzog, W., Selinger, E., 2013, *Big Data in Small Hands*, *Stanford Law Review Online*, 66(81), 81-88.

⁴⁷ Rubinstein, I., 2013, *Big Data: The End of Privacy or a New Beginning?*, *International Data Privacy Law*, 3(2), 74-87.

La selezione del secondo elemento del *theoretical background* è guidata da un ragionamento di tipo deduttivo. I dati raccolti e analizzati possono costituire un patrimonio di conoscenza che, per l'efficientamento di un sistema, va opportunamente gestito. A tale scopo, l'ambito della gestione della conoscenza, ovvero del *knowledge management*, è stato selezionato come parte integrante dei confini teorici della ricerca.

L'ambito del rischio, ovvero il portato teorico sottostante l'area del *risk management* costituisce l'anima del presente lavoro di ricerca essendo la sicurezza naturalmente insediata e minata dai rischi. È proprio la gestione dei rischi che consente, in via deduttiva, di individuare, attraverso un processo decisionale supportato dalla conoscenza e alimentata dai dati, le misure più opportune per risolvere problemi reali.

Nell'ambito del patrimonio infrastrutturale italiano, come descritto accuratamente nel precedente par. 1.2, vengono offerti numerosi servizi (uno di questo è la viabilità). Rispetto alla tragedia del ponte Morandi, il Governo ha avviato azioni concrete sia per chiarire le cause del disastro, ma anche per gettare le basi normative e tecnico-applicative per prevenire ed evitare ulteriori disastri. Tali azioni vanno sia nella direzione della prevenzione, ma anche del miglioramento dei servizi offerti nell'ambito della gestione infrastrutturale. Da qui, la scelta di contemplare nel *theoretical background* anche l'aspetto legato alla *service quality*.

Di seguito una trattazione analitica del *theoretical background* caratterizzante la base di conoscenza impiegata nel presente lavoro di tesi dottorale.

2.2. Big Data & Analytics

Il termine “*big data*” è quasi onnipresente all'interno di articoli e rapporti pubblicati da professionisti e ricercatori di tecnologia dell'informazione (IT), determinando una sua forte diffusione. Tuttavia, il grado di popolarità dei *big data* non è stato affiancato da uno sviluppo razionale di un vocabolario definito. Infatti, il termine stesso “*big data*” è stato utilizzato con significati diversi, senza poter creare una definizione unica e formale.

Nel corso del tempo varie sono state le definizioni di *big data* proposte in letteratura. Da tali definizioni e dall'identificazione dei principali “temi” connessi è stata individuata una definizione formale e ampiamente accettabile. Ciononostante, al fine di individuare una condivisa definizione di “*big data*” si propone una disamina approfondita delle definizioni rilevate in letteratura sui *big data* dalla quale se ne possa desumere che rappresenti formalmente l'essenza del fenomeno.

Il primo motivo alla base della rapida espansione dei *big data* è l'ampio grado in cui i dati vengono creati, condivisi e utilizzati negli ultimi tempi. La digitalizzazione, ovvero la trasformazione dei segnali analogici in segnali digitali, ha raggiunto un'enorme popolarità all'inizio degli anni '90. In quel periodo furono lanciati i primi strumenti commerciali di riconoscimento ottico dei caratteri (OCR), che aprirono la strada al lancio dei primi progetti di

“digitalizzazione di massa”, ovvero la conversione di intere librerie tradizionali in file leggibili dai computer (Coyle, 2006)⁴⁸. Un esempio di digitalizzazione di massa è stato Google, nato per digitalizzare completamente più di 15 milioni di libri a stampa conservati in diverse biblioteche universitarie.

Una volta che i segnali sono stati convertiti in un formato digitale, possono essere organizzati in *set* di dati più strutturati. Questo ulteriore passo, che Mayer-Schönberger e Cukier (2013)⁴⁹ hanno chiamato “*datafication*”, è in grado di offrire un punto di vista unico a livello macro per studiare tendenze e modelli rilevanti che sarebbero stati impossibili se tutti i dati fossero rimasti nel formato analogico. Nel caso del suddetto progetto di digitalizzazione di massa di Google, la dataficazione è iniziata quando l’enorme quantità di stringhe testuali è stata convertita in sequenze di parole contigue per le quali è stato possibile tracciare il livello di occorrenza nel corso dei secoli. In questo modo, i ricercatori sono stati in grado di trovare approfondimenti su campi disparati, come linguistica, etimologia, sociologia ed epidemiologia storica, utilizzando i *set* di dati di Google Books.

Secondo Prescott (2013)⁵⁰, “*i cataloghi delle biblioteche possono essere visti come un primo incontro con i Big Data*”, in quanto caratterizzati da un certo livello di “eterogeneità” dovuto agli errori umani e allo sviluppo nel tempo di standard diversi per la catalogazione. I metodi dei *big data* possono essere utilizzati per identificare i vari processi di catalogazione dei beni librari nel tempo e per trovare nuove incongruenze nei dati.

Un altro importante motivo della crescente diffusione dei *big data* è legato alla nascita, a partire dagli anni 2000, in frequenza sempre maggiore di dispositivi personali connessi a Internet e dotati di sensori digitali (come fotocamere, registratori audio e localizzatori GPS). Tali sensori rendono possibile la digitalizzazione, mentre la connessione di rete consente di raccogliere, trasformare e, in definitiva, organizzare i dati come informazioni. Lo scenario in cui oggetti artificiali, dotati di identificatori univoci, interagiscono tra loro per raggiungere obiettivi comuni, senza alcuna interazione umana, va sotto il nome di *Internet of Things, IoT* (Atzori et al., 2010; Estrin et al., 2002)⁵¹, e rappresenta una promettente fonte di informazioni nell’era dei *big data*.

Un altro tema riscontrato nella letteratura sui *big data* riguarda le problematiche tecnologiche per l’utilizzo di grandi quantità di dati. Gestire i *big data* alla giusta velocità implica requisiti di calcolo che un sistema IT medio potrebbe non essere in grado di garantire.

⁴⁸ Coyle, K., 2006, *Mass digitization of books*, *Journal of Academic Librarianship*, 32(6), 641-645.

⁴⁹ Mayer-Schönberger, V., Cukier, K., 2013, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think*, John Murray, London.

⁵⁰ Prescott, A., 2013, *Bibliographic records as humanities big data*, In *2013 IEEE International Conference on Big Data*, Silicon Valley, CA, USA 6-9 Oct, 55-58.

⁵¹ Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., 2010, *The internet of things: a survey*, *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805; Estrin, D., Culler, D., Pister, K., Sukhatme, G., 2002, *Connecting the physical world with pervasive networks*, *IEEE Pervasive Computing*, 1(1), 59-69.

Per tale motivo sono fondamentali strumenti ritenuti necessari per la gestione e semplificazione dei *big data*.

Hadoop è un *framework open source* progettato specificamente per gestire i *big data* in modo soddisfacente. I componenti primari di Hadoop sono HDFS e MapReduce: entrambi sono stati originariamente sviluppati da Google prima di diventare un progetto autonomo di *Apache*. Hadoop e MapReduce si sono dimostrati molto efficaci nell'esplorazione e nella gestione di metadati di grandi librerie: Powell (2012)⁵² propone un'implementazione per l'estrazione e la corrispondenza dei nomi degli autori basata sulla tecnologia *big data*.

Un altro fondamentale problema tecnologico legato ai *big data* è la loro trasmissione. Le reti di comunicazione devono sostenere trasferimenti di dati più grandi e veloci e i sistemi richiedono specifiche tecniche di *benchmarking* per valutarne le prestazioni complessive (Xiong et al., 2013)⁵³. Infine, un ulteriore requisito tecnologico legato all'utilizzo dei *big data* è la capacità di memorizzare una quantità maggiore di dati su dispositivi più piccoli.

Anche i *big data* sono fonte di preoccupazione poiché la loro rapida crescita ha preceduto la definizione di linee guida esaustive per proteggere le informazioni private volti a difendere la privacy individuale (Orefice, 2018)⁵⁴. Inoltre, l'accessibilità delle informazioni dovrebbe essere regolata in modo appropriato e imparziale per evitare pratiche commerciali anticoncorrenziali (Manovich, 2012)⁵⁵ che potrebbero rafforzare le posizioni dominanti sul mercato.

I *big data* hanno anche un impatto profondo sulle aziende, poiché sono costrette a riconsiderare la loro organizzazione e tutti i loro processi aziendali in funzione di nuove informazioni da cui generare vantaggi competitivi in un mercato basato sui dati (Pearson e Wegener, 2013)⁵⁶.

2.2.1. Caratteristiche e definizioni dei *big data*

Diverse definizioni di *big data* sono state avanzate fino ad oggi nel tentativo di distinguere il fenomeno dei *big data* dagli approcci convenzionali basati sui dati o di *business analytics*. La maggior parte degli studiosi sottolinea le "tre V" che caratterizzano i *big data*: volume, velocità e varietà (McAfee et al., 2012; Davis 2014; Sun et al., 2015)⁵⁷. Con il termine *volume*

⁵² Powell, J., 2012, At scale' author name matching with Hadoop/MapReduce, Library Hi Tech News, Vol. 29 No. 4., pp. 6-12, available at: <http://doi.org/10.1108/07419051211249455>

⁵³ Xiong, W., Yu, Z., Bei, Z., Zhao, J., Zhang, F., Zou, Y., Xu, C., 2013, *A characterization of big data benchmarks*, In *2013 IEEE International Conference on Big Data*, Silicon Valley, CA, USA 6-9 Oct, 118-125.

⁵⁴ Orefice, M., 2018, *I Big Data e gli effetti su privacy, trasparenza e iniziativa economica*, Aracne, Roma, pag. 15.

⁵⁵ Manovich, L., 2012, *Trending: the promises and the challenges of big social data*, *Debates in the digital humanities*, 2(1), 460-475.

⁵⁶ Pearson, T., Wegener, R., 2013, *Big Data: The Organizational Challenge*, Bain & Company, Boston.

⁵⁷ McAfee, A., Brynjolfsson, E., Davenport, T.H., Patil, D. Barton, D., 2012, *Big data: the management revolution*, *Harvard Business Review*, 90(10), 60-68; Davis, C.K., 2014, *Beyond data and analysis*, *Communications of the ACM*, 57(6), 39-41-

ci si riferisce all'enorme dimensione del *set* di dati dovuta all'aggregazione di un gran numero di variabili e a un insieme ancora più ampio di osservazioni per ciascuna variabile (George et al., 2016)⁵⁸.

La seconda caratteristica riflette la velocità con cui questi dati vengono raccolti, aggiornati, analizzati e la velocità con cui il loro valore diventa obsoleto.

La capacità di analizzare questi flussi di dati è un fattore importante quando si tratta di migliorare l'agilità aziendale e consentire azioni in tempo reale (White 2011; Boyd et al., 2012)⁵⁹. Sebbene non esistano parametri di riferimento universali per definire il volume, la velocità e la varietà dei *big data*, i limiti di definizione dipendono dalle dimensioni, dal settore e dall'ubicazione dell'azienda e sono soggetti a limiti variabili nel tempo (Gandomi e Haider, 2015)⁶⁰. La varietà si riferisce alla pluralità di fonti di dati strutturate e non strutturate, che, tra le altre cose, includono testo, audio, immagini, video, reti e grafica (Constantiou e Kallinikos, 2015)⁶¹. In aggiunta al corpo di definizioni esistente, diversi studiosi hanno incluso diversi aspetti dei *big data* nelle loro concettualizzazioni. Ad esempio, un aspetto comunemente riconosciuto dei *big data* è la sua veridicità (Akter et al. 2016)⁶².

Si ritiene che questa grande quantità di dati sia un importante fattore abilitante per la creazione di valore per le organizzazioni. Oracle ha introdotto il valore come aspetto determinante dei *big data*. Secondo la definizione di Oracle (2012)⁶³, i *big data* sono spesso caratterizzati da una bassa densità di valore, il che significa che il valore dei dati elaborati è proporzionalmente basso rispetto al suo volume. Seddon e Currie hanno incluso due dimensioni aggiuntive nella definizione dei *big data*: variabilità e visualizzazione. La variabilità si riferisce alle opportunità dinamiche che sono disponibili interpretando i *big data*, mentre la visualizzazione ha a che fare con la rappresentazione dei dati in modo significativo attraverso metodi di intelligenza artificiale che generano modelli (Seddon and Currie 2017)⁶⁴.

La rapida evoluzione della letteratura sui *big data* ha impedito lo sviluppo di una definizione universalmente e formalmente accettata. Infatti, sebbene diversi autori abbiano proposto le proprie definizioni per i *big data* (Beyer e Laney, 2012; Schroeck et al. 2012;

Sun, E.W, Chen, Y.T., Yu, M.T., 2015, *Generalized optimal wavelet decomposing algorithm for big financial data*, *International Journal of Production Economics*, 165, 194-214.

⁵⁸ George, G., Osinga, C.E., Lavie, D., Scott, B., 2016, *Big data and data science methods for management research*, *Academy of Management Journal*, 59(5), 1493-1507.

⁵⁹ White, C., 2011, *Using big data for smarter decision making IBM*, Yorktown Heights, New York; Boyd, D., Crawford, K., 2012, *Critical questions for big data: provocations for a cultural, technological, and scholarly phenomenon*, *Information, Communication & Society*, 15(5), 662-679.

⁶⁰ Gandomi, A., Haider, M., 2015, *Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics*, *International journal of information management*, 35(2), 37-144.

⁶¹ Constantiou, I.D., Kallinikos, J., 2015, *New games, new rules: big data and the changing context of strategy*, *Journal of Information Technology*, 30(1), 44-57.

⁶² Akter, S., Wamba, S.F., Gunasekaran, A., Dubey, R., Childe, S.J., 2016a, *How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment?*, *International Journal of Production Economics*, 182, 113-131.

⁶³ Oracle, 2012, *Big data for the enterprise*, Oracle Published Group, Redwood Shores, CA.

⁶⁴ Seddon, J.J., Currie, W.L., 2017, *A model for unpacking big data analytics in high-frequency trading*, *Journal of Business Research*, 70, 300-307.

Dijcks, 2013; Mayer-Schönberger e Cukier, 2013; Suthaharan, 2014; Ward e Barker, 2013)⁶⁵, inevitabilmente ci sono state nuove proposte volte a suggerire ulteriori definizioni.

La mancata omogeneità di definizioni dei *big data* ha limitato il corretto sviluppo della disciplina e ha portato gli studiosi ad adottare definizioni “implicite” per i *big data*. Al riguardo, le definizioni esistenti forniscono prospettive molto diverse, fino ad arrivare ad usare tale termine per descrivere un fenomeno sociale, *asset* informativi, *set* di dati, tecnologie di archiviazione, tecniche analitiche, processi e infrastrutture.

Le definizioni fornite finora possono essere classificate secondo quattro gruppi, a seconda di dove è stato posto l’accento nella descrizione del fenomeno:

- I. attributi dei dati;
- II. esigenze tecnologiche;
- III. superamento delle soglie, e
- IV. impatto sociale.

Le definizioni dei *big data* relative al primo gruppo ne raccolgono le caratteristiche. Una delle definizioni più popolari rientra in questo gruppo (Laney, 2001⁶⁶). In particolare, le “3 V” di Laney, alla base dell’atteso aumento tridimensionale del volume, della velocità e della varietà dei dati, non menzionavano esplicitamente i *big data*. Il suo contributo è stato a questi associato diversi anni dopo (Zikopoulos e Eaton, 2011; Zaslavskij et al., 2013)⁶⁷. Diversi autori hanno esteso il modello “3 V”, aggiungendo altre caratteristiche dei *big data*, come la veridicità, valore, complessità e destrutturazione (Intel IT Center, 2012)⁶⁸.

Le definizioni che rientrano nel secondo gruppo sottolineano le esigenze tecnologiche alla base del trattamento di grandi quantità di dati. Infatti, i *big data* descrivono un processo in cui “una seria potenza di calcolo” viene applicata a “insiemi di informazioni seriamente massicci e spesso molto complessi” (Microsoft Research, 2013)⁶⁹.

Alcune definizioni considerano i *big data* in termini di superamento delle soglie, proponendo che i dati siano grandi quando viene superata la capacità di elaborazione dei sistemi di *database* convenzionali e che siano necessari approcci alternativi per elaborarli. I

⁶⁵ Ward, J.S., Barker, A., 2013, *Undefined by data: a survey of big data definitions*, consultabile su <https://arXiv.org/abs/1309.5821>

⁶⁶ Beyer, M.A., Laney, D., 2012, *The importance of ‘big data’: a definition*, Gartner, Stamford, CN, 2014–2018; Schroeck, M., Shockley, R., Smart, J., Romero-Morales, D., Tufano, P., 2012, *Analytics: The real-world use of big data*, *IBM Global Business Services*, 12(2012), 1-20; Dijcks, J., 2013, *Oracle: Big data for the enterprise*, Oracle Published Group, Redwood Shores, CA; Mayer-Schönberger, V., Cukier, K., 2013, *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think*, Houghton Mifflin Harcourt, London; Suthaharan, S., 2014, *Big data classification: problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning*, *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 41(4), 70-73; Laney, D., 2001, 3-D data management:controlling data volume, velocity and variety, *META Group Research Note*, 6(70), 1-4.

⁶⁷ Zikopoulos, P., Eaton, C., 2011, *Understanding big data: analytics for enterprise class Hadoop and streaming data*, McGraw-Hill Osborne Media, New York City; Zaslavsky, A., Perera, C., Georgakopoulos, D., 2013, *Sensing as a service and big data*, <https://arxiv.org/abs/1301.0159>

⁶⁸ Intel IT Center, 2012, *Big Data Analytics: Intel’s IT Manager Survey on How Organizations Are Using Big Data*, Intel Corporation, Santa Clara, CA.

⁶⁹ Redmond, W., 2012, *The big bang: How the big data explosion is changing the world*, Microsoft News Center, Washington.

problemi di produttività richiedono l'emergere di metodi dichiarativi per specificare con precisione le attività di estrazione delle informazioni e quindi ottimizzare la loro esecuzione durante l'elaborazione di nuovi dati (Lohr, 2011)⁷⁰. Fisher et al. (2012)⁷¹ suggeriscono che il concetto di "grande" in termini di dimensioni è legato alla legge di Moore e, di conseguenza, alla capacità delle soluzioni di stoccaggio commerciale.

Infine, diverse definizioni evidenziano l'effetto dell'avanzamento dei *big data* sulla società. Boyd e Crawford (2012)⁷² definiscono i *big data* come "un fenomeno culturale, tecnologico e accademico" basato su tre elementi: tecnologia (ossia la massimizzazione della potenza computazionale e dell'accuratezza algoritmica); analisi (ossia l'identificazione di modelli su grandi insiemi di dati); e mitologia (cioè la convinzione che grandi insiemi di dati offrano una forma superiore di intelligenza, portando un'aura di verità, accuratezza e obiettività).

L'analisi finale delle definizioni esistenti di *big data* permette di concludere che il concetto connesso a questi ultimi comprenda i seguenti aspetti:

- "Volume", "Velocità" e "Varietà", per descrivere le caratteristiche dell'informazione.
- "Tecnologia" e "Metodi analitici", per descrivere i requisiti necessari per fare un uso corretto di tali informazioni.
- "Valore", per descrivere la trasformazione delle informazioni in *insight* che possono creare valore economico per le aziende e la società.

Tale definizione è compatibile con l'uso di termini quali "*Big Data Technology*" e "*Big Data Methods*" quando ci si riferisce direttamente alla tecnologia e ai metodi specifici citati nella definizione principale.

Le fasi di analisi e modellazione dei dati, sebbene cruciali, sono di scarsa utilità senza le altre fasi del processo. I dati devono essere registrati in base alla loro preziosità sviluppando modi per ricavarne un valore imperfetto e incompleto. Ciò solleva la necessità di monitorare la provenienza e di gestire l'incertezza e l'errore.

Il ciclo di vita dei *big data* è costituito da cinque fasi:

- acquisizione dei dati;
- estrazione e pulizia delle informazioni;
- integrazione, aggregazione e rappresentazione dei dati;
- modellazione e analisi;
- interpretazione dei dati.

I *big data* sono la registrazione di molteplici attività di interesse. Basti pensare alla capacità di percepire e osservare il mondo che ci circonda, dalla frequenza cardiaca di un

⁷⁰ Lohr, S., 2012, *The age of big data*. New York Times.

⁷¹ Fisher, D., DeLine, R., Czerwinski, M. Drucker, S., 2012, *Interactions with big data analytics*, *Interactions*, 19(3), 50-59.

⁷² Boyd, D., Crawford, K., 2012, *Critical questions for big data: provocations for a cultural, technological, and scholarly phenomenon*, *Information, Communication & Society*, 15(5), 662-679.

cittadino anziano, alla presenza di tossine nell'aria che respiriamo, ai registri dell'attività dell'utente su un sito Web o ai registri degli eventi in un sistema software. Sensori, simulazioni ed esperimenti scientifici possono oggi produrre grandi volumi di dati (Russom, 2011)⁷³.

I *big data* sono spesso rumorosi, dinamici, eterogenei, interconnessi e inaffidabili. Tuttavia, quelli rumorosi potrebbero essere più preziosi dei piccoli campioni perché le statistiche generali ottenute da schemi frequenti e analisi di correlazione, di solito, sovrastano le fluttuazioni individuali e, spesso rivelano schemi e conoscenze nascosti più affidabili.

Affinché i *big data* raggiungano appieno il loro potenziale, si deve considerare la scala non solo per il sistema ma anche dal punto di vista degli esseri umani. Dobbiamo assicurarci che questi ultimi possano “assorbire” adeguatamente i risultati dell'analisi e non perdersi in un mare di dati. Nonostante gli enormi progressi compiuti nell'analisi computazionale, rimangono molti i modelli che le persone possono facilmente rilevare ma gli algoritmi informatici hanno difficoltà a trovare (Gonzalez, Hidalgo, Barabasi, 2008)⁷⁴.

Nel complesso mondo odierno, spesso, occorrono più esperti di domini diversi per capire veramente ciò che succede. Un sistema di analisi dei *big data* deve supportare l'*input* di più esperti umani e l'esplorazione condivisa dei risultati. Molti settori della nostra economia si stanno ora spostando verso un modello decisionale basato sui dati in cui il *core business* si basa sull'analisi di grandi e diversificati volumi di dati che vengono continuamente prodotti. Questo mondo basato sui dati ha il potenziale per migliorare l'efficienza delle imprese e la qualità della nostra vita. Per consentire di sfruttare il potenziale dei *big data* occorre cogliere appieno le prospettive di sviluppo ad essi connesse (Pariser, 2011)⁷⁵.

Le persone che lavorano con i *big data* necessitano di competenze IT sostanziali e creative; si occupano della gestione dei dati ed hanno senso degli affari e capacità di comunicare efficacemente con i responsabili delle decisioni, opposti quindi alle caratteristiche degli analisti di dati del passato.

Purtroppo, spesso questa combinazione di abilità viene a mancare e, per questo motivo, alcuni dei primi ad adottare i *big data* stanno lavorando per sviluppare il proprio talento. Basti pensare all'*EMC Corporation*, tradizionalmente fornitore di tecnologie di *storage* dei dati, che nel 2010 ha acquisito *Greenplum*, una società di tecnologia dei *big data*, per espandere le proprie capacità nella scienza dei dati e avviare un'offerta formativa per i *data scientist* (Davenport, Bean, Barth, 2012)⁷⁶. Molte applicazioni per *big data* utilizzano

⁷³ Russom, P., Big data analytics, *DWI best practices report, fourth quarter*, 19(4), 1-34.

⁷⁴ González, M.C., Hidalgo, C.A., Barabási, A.L., 2008, *Understanding individual human mobility patterns, nature*, 453(7196),779–782.

⁷⁵ Pariser, E., 2011, *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding From You*, Penguin, UK.

⁷⁶ Davenport, T. H., P. Barth, R. Bean, 2012, *How big data is different, Sloan Management Review*, 54(1), 22-24.

informazioni esterne non proprietarie come la modellazione dei *social network* e l'analisi del *sentiment*. Inoltre, l'analisi dei *big data* dipende da un'ampia capacità di archiviazione e potenza di elaborazione, che richiede una griglia flessibile che possa essere riconfigurata per esigenze diverse. I fornitori di servizi basati su *cloud* offrono prezzi *on demand* con riconfigurazione rapida⁷⁷.

Un altro cambiamento in corso è il passaggio al *cloud computing* che ora aggrega più carichi di lavoro con obiettivi di prestazioni variabili in *cluster* molto grandi. Questo livello di condivisione delle risorse su *cluster* costosi e di grandi dimensioni sottolinea le tecniche di *grid* e *cluster computing* del passato. Inoltre, richiede nuovi modi per determinare come eseguire lavori di elaborazione dati in modo da poter raggiungere gli obiettivi di ciascun carico di lavoro e gestire i guasti del sistema che si verificano più frequentemente quando si opera su sistemi sempre più grandi. Ciò porta alla necessità di un'ottimizzazione globale tra i programmi di più utenti, anche quelli che svolgono complesse attività di apprendimento automatico (Villars, Olofson, Eastwood 2011)⁷⁸.

Ultimo motivo per cui le organizzazioni che sfruttano i *big data* si distinguono dai tradizionali ambienti è lo spostamento dell'analisi dall'IT al *core business* e alle funzioni operative.

L'aumento dei volumi di dati richiede importanti miglioramenti nelle tecnologie di *database* e analisi. L'acquisizione, il filtraggio, l'archiviazione e l'analisi dei flussi di *big data* possono inondare le reti tradizionali, gli *array* di archiviazione e le piattaforme di *database* relazionali.

Sul mercato è presente un'ampia gamma di nuovi prodotti progettati per gestire i *big data* tra cui piattaforme *open source* come *Hadoop*,⁷⁹ inventate dai pionieri di Internet per supportare una significativa mole di dati generata.

Un altro modo per gestire i *big data* è lasciare i dati dove si trovano. I cosiddetti *data mart virtuali* consentono ai *data scientist* di condividere i dati esistenti senza replicarli. *EBay*, ad esempio, aveva un enorme problema di replicazione dei dati, con versioni da 20 a 50 volte degli stessi dati sparse nei suoi vari *data mart*. Ora, grazie ai suoi *data mart virtuali* il problema della replica dell'azienda è stato drasticamente ridotto. Inoltre, *eBay* ha creato un *data hub* in modo che manager e analisti possano servirsi da soli e condividere dati e analisi all'interno dell'organizzazione. In effetti, ha costruito un *social network* basato su analisi e dati (Russom, 2011)⁸⁰.

⁷⁷ I Video on Demand (VoD) è un servizio che permette agli utenti di visualizzare un contenuto quando vogliono ed è spesso associato alla sottoscrizione di un abbonamento PayTV.

⁷⁸ Villars, R. L., Olofson, C. W., & Eastwood, M., 2011, *Big data: What it is and why you should care*, White paper, IDC, 14, 1-14.

⁷⁹ Hadoop è un progetto software *open source* che consente di elaborare in modo efficiente grandi set di dati.

⁸⁰ Russom, P., *Big data analytics, DWI best practices report, fourth quarter*, 19(4), 1-34.

Un principio chiave dei *big data* è che il mondo e i dati che lo descrivono sono in continua evoluzione e le organizzazioni in grado di riconoscere i cambiamenti e reagire rapidamente e in modo intelligente avranno il sopravvento⁸¹. Mentre le capacità aziendali e IT più decantate erano stabilità e scalabilità, i nuovi vantaggi si basano sulla scoperta e sull'agilità ovvero la capacità di estrarre continuamente fonti di dati esistenti e nuovi.

2.2.2. Blockchain

Nell'ambito dei *big data* molto discusso è il tema della "sensibilità", ovvero confidenzialità, dei dati e delle informazioni, acquisite/i e poi trattate/i mediante opportuni *software* secondo gli scopi prefissati. In tal senso, molteplici studi si sono concentrati per tentare di dare risposte a tale problematica di non poco conto. Tra questi, Su e Xu (2021)⁸² hanno proposto una soluzione che consiste in un *match* tra la "teoria delle corrispondenze"⁸³ e il "gioco di coalizione"⁸⁴ e Wu et al. (2018)⁸⁵ hanno investigato il "*reinforcement learning*"⁸⁶ per progettare un algoritmo *security-aware*⁸⁷ per un sistema *smart grid*⁸⁸.

⁸¹ Un *data hub* è un'architettura *storage* moderna, incentrata sui dati, che aiuta le aziende a consolidare e condividere i dati in modo da supportare gli *analytics*.

⁸² Su, Z., Xu, Q., 2021, Security-Aware Resource Allocation for Mobile Social Big Data: A Matching-Coalitional Game Solution, *IEEE Transactions on Big Data*, 7(4), 632-642. Doi:10.1109/TBDDATA.2017.2700318.

⁸³ È un approccio che presenta una sua utilità allorché i giocatori valutano le loro relazioni di preferenza sulla base delle informazioni locali disponibili, senza la necessariamente aderire ad una entità centrale. Tale teoria, recentemente, è stata applicata nella soluzione di problemi di allocazione di risorse distribuite in varie aree mediante reti wireless; Gu, Y., Saad, W., Bennis, M., Debbah, M., Han, Z., 2015, Matching theory for future wireless networks: fundamentals and applications, *IEEE Communications Magazine*, 53(5), 52-59.

⁸⁴ L'attività di previsione, nei giochi di coalizioni, è interpretata come un gioco cooperativo in cui ogni decisione assunta dal modello corrisponde ad un *pay-out* inteso come "la differenza tra la previsione del modello per un'istanza specifica e la previsione media per l'intero campione", Barfar, A., Padmanabhan, B., Hevner, A., 2021, Peak cubes in service operations: Bringing multidimensionality into decision support systems, *Decision Support Systems*, 140, 113442. Doi:10.1016/j.dss.2020.113442.

⁸⁵ Wu J., Ota K., Dong M., Li J., Wang H., 2018, Big data analysis-based security situational awareness for smart grid, *IEEE Transaction Big Data*, 4(3), 408-417.

⁸⁶ Trattasi di una tematica propria dell'AI (*Artificial Intelligence*) in cui è previsto che ogni agente tende ad adattare la sua policy con l'apprendimento sequenziale attraverso le *rewards* che riceve quale risultato della sua azione. Contrariamente alle tecniche di apprendimento supervisionato o semi-supervisionato, il *reinforcement learning* non necessita di una conoscenza preliminare dell'ambiente, una caratteristica che rende il *reinforcement learning* particolarmente idoneo all'uso nella *blockchain*. Rabieinejad, E., Mohammadi, S., Yadegari, M., 2021, "Provision of a Recommender Model for Blockchain-Based IoT with Deep Reinforcement Learning", *Proceedings of 5th International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, IEEE, DOI: 10.1109/IoT52625.2021.9469708; Jameel, F., Javaid, U., Khan, W. U., Aman, M. N., Pervaiz, H., Jäntti, R., 2020, Reinforcement learning in blockchain-enabled IIoT networks: A survey of recent advances and open challenges, *Sustainability*, 12(12), 5161.

⁸⁷ Rappresenta una tecnica algoritmica di protezione per i dati in *Cloud*.

⁸⁸ Il modello iniziale di *Smart Grid* si proponeva di far avanzare le tecnologie degli elementi. Tuttavia, gli attuali modelli si propongono di rinvigorire il sistema *Smart Grid* a livello internazionale cercando *business models* idonei a sviluppare i sistemi convergenti. Scopo del sistema *Smart Grid* è in primo luogo "intellettualizzare" la rete elettrica e consentire ai fornitori di energia elettrica di stabilire il livello di fornitura di energia e le sue tariffe e, in secondo luogo (secondo la prospettiva dei consumatori) di monitorarne l'utilizzo individuando tariffe elettriche e modelli di utilizzo mediante contatori intelligenti e la rete Internet, Huh, J.H., Otgonchimeg, S., Seo, K., 2016, Advanced metering infrastructure design and test bed experiment using intelligent agents: focusing on the PLC network base technology for Smart Grid system, *The Journal of Supercomputing*, 72, 1862-1877. Doi:10.1007/s11227-016-1672-4.

La tecnologia *blockchain* è considerata una delle innovazioni tecnologiche più notevoli del ventunesimo secolo (Kimani et al. 2020)⁸⁹. Rappresenta un registro di contabilità che facilita, attraverso la sua condivisione, la registrazione di transazioni e garantisce la tracciabilità dei beni. Qualsiasi asset tangibile o intangibile, che abbiamo un effettivo valore, possono essere rintracciati e scambiati, attraverso una rete *blockchain*. Quest'ultima si configura come uno strumento fondamentale per persone e macchine per trasferire "valore" su internet (Antonopoulos 2016; Rauchs et al. 2018; Werbach 2018)⁹⁰, identificando chi e quando detiene un determinato valore, quando si è verificato uno scambio (Abbate et al., 2022)⁹¹ ed estendendo il suo campo di applicazione a qualsiasi transazione, comprese quelle agricole (Rabah, 2018)⁹², in modo da configurarsi come mezzo di scambio affidabile (Swan 2015; De Filippi e Loveluck, 2016)⁹³. Infatti, questa tecnologia potrebbe offrire un'infrastruttura senza sforzo per trasferire direttamente i dati tra i dispositivi IoT per una comunicazione sicura attraverso un'affidabile stretta di mano contrattuale con data e ora (Tariq et al., 2019)⁹⁴.

Tuttavia, il settore finanziario è visto come uno degli utenti principali del concetto di blockchain. Ciò non è solo dovuto al fatto che l'applicazione più nota di questa tecnologia è la criptovaluta Bitcoin, ma anche perché la crisi finanziaria ha rivelato che anche nei servizi finanziari non è sempre possibile identificare il corretto attuale proprietario di un bene (Nofer et al., 2017)⁹⁵. Proprio il rapido sviluppo della tecnologia *blockchain* e delle criptovalute ha influenzato il settore finanziario creando una nuova cripto-economia. Quindi, sono emerse applicazioni decentralizzate di nuova generazione senza il coinvolgimento di una terza parte fidata grazie alla comparsa degli *smart contract* (Mendling et al., 2018)⁹⁶, i

⁸⁹ Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., Ullah, S., Frecknall-Hughes, J., Kim, J., 2020, Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how?, *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120254.

⁹⁰ Antonopoulos, A. M., 2016, *The Internet of Money: A Collection of Talks*, vol. 2, Middletown: Merkle Bloom; Rauchs, M., Glidden, A., Gordon, B., Pieters, G., Recanatini, M., Rostand, F., Vagneur, K., Zhang, B., 2018, *Distributed Ledger Technology Systems: A conceptual framework*, Cambridge Centre for Alternative Finance Report: Cambridge University Judge Business School; Werbach, K., 2018, *The Blockchain and the New Architecture of Trust*, Cambridge: MIT Press.

⁹¹ Abbate, T., Vecco, M., Vermiglio, C., Zarone, V., Perano, M., 2022, Blockchain and art market: resistance or adoption?, *Consumption Markets & Culture*, 1-19.

⁹² Rabah, K., 2018, Convergence of AI, IoT, big data and blockchain: a review, *The lake institute Journal*, 1(1), 1-18.

⁹³ Swan, M., 2015, *Blockchain – Blueprint for a new Economy*, Sebastopol: O'Reilly Media Inc; De Filippi, P., Loveluck, B., 2016, The Invisible Politics of Bitcoin: Governance Crisis of a Decentralised Infrastructure, *Internet Policy Review*, 5(3), 1–28. doi:10.14763/2016.3.427.

⁹⁴ Tariq, N., Asim, M., Al-Obeidat, F., Zubair Farooqi, M., Baker, T., Hammoudeh, M., Ghafir, I., 2019, The security of big data in fog-enabled IoT applications including blockchain: A survey, *Sensors*, 19(8), 1788.

⁹⁵ Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., Schiereck, D., 2017, Blockchain, *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187.

⁹⁶ Mendling, J., Weber, I., Aalst, W. V. D., Brocke, J. V., Cabanillas, C., Daniel, F., Dustdar, S., 2018, Blockchains for business process management-challenges and opportunities, *ACM Transactions on Management Information Systems*, 9(1), 1-16.

quali sono protocolli informatici progettati per facilitare, verificare e far rispettare automaticamente la negoziazione e l'accordo tra più parti inaffidabili (Khan et al., 2021)⁹⁷.

La *blockchain* ha suscitato un notevole interesse, anche, nel supportare sistemi di *big data* con elevata sicurezza e gestione efficiente della rete (Bodkhe et al., 2020)⁹⁸, garantendo un miglioramento della sicurezza e della *privacy* dei big data, in risposta alla grande quantità di dati archiviati, ogni giorno, in posizioni di terze parti come il *cloud* (Deepa et al., 2022)⁹⁹.

Le applicazioni di fusione tra *blockchain* e *big data* sono state ampiamente discusse in molte aree. Ad esempio, nel settore bancario, l'utilizzo di queste due tecnologie potrebbe aiutare le imprese a stabilire sistemi di credito personale; o nel contesto delle *smart cities* può rappresentare un sistema fiduciario in *network systems* (Guo e Liang, 2016)¹⁰⁰. Nell'area della sicurezza delle informazioni, l'applicazione di fusione di *blockchain* e *big data* ha avuto molti vantaggi (Hassani et al., 2019)¹⁰¹, come il miglioramento della sicurezza delle informazioni sulla *privacy* e la trasparenza dei dati (Karafiloski e Mishev, 2017; Es-Samaali et al., 2017)¹⁰². Nel campo delle basse emissioni di carbonio, Sun e Zhang (2020)¹⁰³ hanno proposto una piattaforma da utilizzare per fornire da supporto alla formazione delle *smart city*. Nell'area della filiera sostenibile, Zhang et al. (2020)¹⁰⁴ pensavano che le applicazioni combinate di *blockchain* e *big data* potessero migliorare la sostenibilità della catena di approvvigionamento.

Nel settore agroalimentare, Kamble et al. (2020)¹⁰⁵ hanno ritenuto che la fusione applicativa tra IoT, Big Data e blockchain potrebbe trasformare una filiera agroalimentare in una filiera sostenibile basata sui dati.

L'integrazione dei *big data* con la tecnologia *blockchain* è un modo sicuro per rispondere e gestire alcuni o la maggior parte dei problemi e delle sfide chiave che coinvolgono i *big*

⁹⁷ Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., Bani-Hani, A., 2021, Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends, *Peer-to-peer Networking and Applications*, 14(5), 2901-2925.

⁹⁸ Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., Alazab, M., 2020, Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review, *IEEE Access*, 8, 79764-79800.

⁹⁹ Deepa, N., Pham, Q. V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, Praveen Kumar Reddy M., Fang F., Pathirana, P., 2022, A survey on blockchain for big data: approaches, opportunities, and future directions, *Future Generation Computer Systems*, 131, 209-226.

¹⁰⁰ Guo, Y., Liang, C., 2016, Blockchain application and outlook in the banking industry. Financial innovation, 2(1), 1-12. Fu Y., J. Zhu, 2021, Trusted data infrastructure for smart cities: a blockchain perspective, *Building Research & Information*, 49(1), 21-37.

¹⁰¹ Hassani, Hossein, Xu Huang, E.S. Silva, 2019, "Big data and blockchain", Fusing big data, blockchain and cryptocurrency. Palgrave Pivot, Cham, 7-48.

¹⁰² Karafiloski, E., Mishev, A., 2017, Blockchain solutions for big data challenges: A literature review. In *IEEE EUROCON 2017-17th International Conference on Smart Technologies*, 763-768; Es-Samaali, H., Outchakoucht, A., Leroy, J. P., 2017, A blockchain-based access control for big data. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, 5(7), 137.

¹⁰³ Sun, M., Zhang, J., 2020, Research on the application of block chain big data platform in the construction of new smart city for low carbon emission and green environment, *Computer Communications*, 149, 332-342.

¹⁰⁴ Zhang, A., Zhong, R. Y., Farooque, M., Kang, K., Venkatesh, V. G., 2020, Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. Resources, *Conservation and Recycling*, 152, 104512.

¹⁰⁵ Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Gawankar, S. A., 2020, Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications, *International Journal of Production Economics*, 219, 179-194.

data. L'ingresso di tale strumento ha cambiato per sempre il modo in cui i dati sono percepiti, accessibili, controllati e gestiti, adattandosi nei diversi campi in cui entrano in gioco la fiducia e altre sfide che di solito diffamano la collaborazione. Con l'aumentare di dati, è diventato necessario trovare una tecnologia pratica ed efficiente per accedere agli stessi, gestendo tutti i calcoli necessari, senza sacrificare la sicurezza e la capacità di collaborare (Sifah et al., 2018)¹⁰⁶. Infatti, il mantenimento dell'equilibrio tra privacy e sicurezza è stato identificato come una delle questioni importanti per la realizzazione dei progetti *big data-blockchain*, i quali sono stati implementati con successo nelle città intelligenti, nei servizi di assistenza sanitaria intelligente, nei trasporti e reti intelligenti (Deepa et al. 2022)¹⁰⁷.

Con l'arrivo dell'era *blockchain*, è diventato possibile risolvere il problema della sicurezza dei *big data*, con l'introduzione soprattutto dei contratti intelligenti¹⁰⁸, che non si limitano più alle transazioni tra valute. *Blockchain* e *smart contract* sono combinate “per costruire un modello di condivisione dei dati affidabile senza terze parti” (Yue et al., 2017)¹⁰⁹, migliorando la credibilità dei dati, nel rispetto del regolamento approvato dall'Unione Europea in ambito di protezione dei dati¹¹⁰. Lo *smart contract*, infatti, “garantisce la sicurezza della circolazione dei *big data*” (Naik et al., 2021)¹¹¹, attraverso un protocollo di transazione informatizzato, completamente automatico e non avente la necessità di supervisione.

2.3. Knowledge Management

La disciplina del *Knowledge Management* si è evoluta in modo significativo sin dalla fine degli anni '90 (Davenport et al., 1998; Drucker, 1993; Sasaki, 2014; Wiig, 1997)¹¹². L'importanza della gestione della conoscenza per l'innovazione, il vantaggio competitivo e la

¹⁰⁶ Sifah, E. B., Xia, Q., Agyekum, K. O. B. O., Amofa, S., Gao, J., Chen, R., Xia, H., Gee, J.C., Du, X., Guizani, M., 2018, Chain-based big data access control infrastructure, *The Journal of Supercomputing*, 74(10), 4945-4964.

¹⁰⁷ Deepa, N., Pham, Q. V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, Praveen Kumar Reddy M., Fang F., Pathirana, P., 2022, A survey on blockchain for big data: approaches, opportunities, and future directions, *Future Generation Computer Systems*, 131, 209-226.

¹⁰⁸ Fan, X., Huo, Y., 2020, Blockchain based dynamic spectrum access of non-real-time data in cyber-physical-social systems, *IEEE Access*, 8, 64486-64498.

¹⁰⁹ Yue, L., Junqin, H., Shengzhi, Q., Ruijin, W., 2017, Big data model of security sharing based on blockchain. In *2017 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications (BIGCOM)*, Chengdu, 117-121.

¹¹⁰ Tsakalakis, N., Stallabourdillon, S., O'Hara, K., 2016, What's in a name: the contrasting views of pseudonymisation under eIDAS and the General Data Protection Regulation, *European Journal of Psychotraumatology*, 3(2), 163-167.

¹¹¹ Naik, B., Mehta, A., Yagnik, H., Shah, M., 2021, The impacts of artificial intelligence techniques in augmentation of cybersecurity: a comprehensive review, *Complex & Intelligent Systems*, 1-18.

¹¹² Davenport, T.H., De Long, D.W., Beers, M.C., 1998, Successful Knowledge Management Projects, *Sloan Management Review*, 39(2), 43-57; Drucker, P.F., 1993, The Rise of the Knowledge Society, *The Wilson Quarterly*, 17(2), 52-71; Sasaki, Y., 2014, Systems Intelligence in Knowledge Management Implementation: A Momentum of the SECI Model, *Proceedings of the 15th International Symposium on Knowledge and Systems Science*, Japan, 69-74; Wiig, K.M., 1997, Knowledge management: An introduction and perspective, *Journal of Knowledge Management*, 1(1), 6-14.

continuità sono alcune delle ragioni dell'adozione del *Knowledge Management* all'interno delle organizzazioni (Hislop et al, 2018)¹¹³. Inoltre, la disciplina ha subito forti ed importanti cambiamenti con una preponderante focalizzazione sugli aspetti più morbidi coinvolti nella gestione della conoscenza nelle organizzazioni (Earl, 2001)¹¹⁴. Diversi autori hanno descritto la progressione del KM attraverso diverse generazioni nel tempo.

Il *Knowledge Management* di prima generazione è stato collocato nello stesso periodo della nascita dei PC e di Internet (Grant and Grant, 2008)¹¹⁵. Il centro della maggior parte delle strategie *Knowledge Management* riguardava la tecnologia e i sistemi informativi (McElroy, 1999). Il *Knowledge Management* di seconda generazione è descritto come associato ad elementi “più morbidi” della gestione della conoscenza (Grant and Grant, 2008). La terza generazione presenta diverse caratteristiche. Alcuni, ad esempio, hanno descritto la terza generazione di *Knowledge Management* come quella in grado di superare le differenze tra la prima e la seconda (Metaxiotis et al., 2005)¹¹⁶; mentre altri hanno presentato la terza generazione come quella che spiega le complessità nella gestione della conoscenza nelle organizzazioni (Snowden, 2002)¹¹⁷.

Esistono numerosi approcci alla concezione della conoscenza. Una delle definizioni più accettate della conoscenza è che la conoscenza è una risorsa umana dinamica usata per ottenere la verità (Nonaka, 1994)¹¹⁸. Si può quindi affermare che la conoscenza è un bene invisibile o immateriale, in cui la sua acquisizione coinvolge complessi processi cognitivi di percezione, apprendimento, comunicazione, associazione e ragionamento (Epetimehin e Ekundayo, 2011)¹¹⁹.

La conoscenza è considerata come l'esperienza utile per fornire un quadro in modo da creare, valutare e utilizzare le informazioni (Soltani e Navimipour, 2016)¹²⁰. In generale, la conoscenza può essere suddivisa in due tipi, tacita ed esplicita (Hubert, 1996)¹²¹. La prima è la conoscenza personale e specifica del contesto di una persona che risiede nella mente, nel

¹¹³ Hislop, D., Bosua, R., Helms, R., 2018, *Knowledge Management in Organisations: A Critical Introduction*, 4th Edition., Oxford University Press, New York.

¹¹⁴ Earl, M., 2001, Knowledge Management Strategies: Toward a Taxonomy, *Journal of Management Information Systems*, 18(1), 215–233.

¹¹⁵ Grant, K.A., Grant, C.T, 2008, Developing a Model of Next Generation Knowledge Management, *Issues in Informing Science and Information Technology*, 5(2), 571–590.

¹¹⁶ Metaxiotis, K., Ergazakis, K., Psarras, J., 2005, *Exploring the world of knowledge management: agreements and disagreements in the academic/practitioner community*, *Journal of Knowledge Management*, 9(2), 6–18.

¹¹⁷ Snowden, D., 2002, *Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness*, *Journal of Knowledge Management*, 6(2), 100–111.

¹¹⁸ Nonaka, I., 1994, *A dynamic theory of organizational knowledge creation*, *Organization Science*, 5(1), 14-37.

¹¹⁹ Epetimehin, F.M., Ekundayo, O., 2011, *Organisational knowledge management: survival strategy for Nigeria insurance industry*, *Interdisciplinary Review of Economics and Management*, 1(2), 9-15.

¹²⁰ Soltani, Z., Navimipour, N.J., 2016, *Customer relationship management mechanisms: a systematic review of the state of the art literature and recommendations for future research*, *Computers in Human Behavior*, 61, 667-688.

¹²¹ Hubert, S.O., 1996, *Tacit knowledge: the key to the strategic aliment of intellectual capital*, *Strategy and Leadership*, 24(2), 10-16.

comportamento e nella percezione umana (Duffy, 2000)¹²². La seconda, invece, rappresenta le informazioni che sono stabilite in forma tangibile (Koenig, 2012)¹²³.

Per quanto attiene al *Knowledge Management*, si rinvengono molteplici definizioni proposte da diversi studiosi in vari settori. Tali definizioni assumono significati diversi a seconda dei contesti e dalla variegata estrazione scientifico-disciplinare degli autori. Horwitch e Armacost (2002)¹²⁴ affermano che il *Knowledge Management* rappresenta la creazione, l'estrazione, la trasformazione e l'archiviazione delle corrette conoscenze e informazioni al fine di progettare politiche migliori, modificare l'azione e fornire risultati.

April e Izadi (2004)¹²⁵ sostengono che il *Knowledge Management* è composto dalle dimensioni dei dati e delle informazioni ma, allo stesso tempo, svolge una funzione di connessione (di conoscenza e saggezza). Per Pauleen e Gorman (2011)¹²⁶, il *Knowledge Management* rappresenta l'applicazione della conoscenza attraverso strategie individuali, basate su esperienza e competenze, per creare il massimo valore per gli individui stessi.

Il *Knowledge Management* è fondamentale anche per raggiungere determinati obiettivi da parte di organizzazioni e individui attraverso l'uso ottimale di conoscenze (Groff e Jones, 2012)¹²⁷. Chang e Lin (2015)¹²⁸ affermano che il *Knowledge Management* si basa su un processo di acquisizione, archiviazione, condivisione e utilizzo della conoscenza.

Liu, Wang et al. (2017)¹²⁹ sostengono, invece, che il *Knowledge Management* sia non solo alla base della gestione dei contenuti tangibili dalla letteratura, ma abbia anche una grande capacità nell'estrarre informazioni dai dati grezzi disponibili su organizzazione e sistematizzazione.

Quando si esaminano le definizioni di *Knowledge Management*, ci sono alcuni termini che sembrano più centrali e fondamentali di altri. In sintesi, nonostante le varie versioni della definizione e delle descrizioni sul *Knowledge Management*, la loro essenza è aiutare gli individui a migliorare l'efficienza dell'apprendimento e integrare diverse risorse informative per migliorare i vantaggi della competitività.

Il *Knowledge Management*, infine, è in grado di fornire all'individuo gli strumenti e le tecniche di cui ha bisogno per superare le informazioni schiaccianti che incontra e per

¹²² Duffy, J., 2000, *Knowledge management: to be or not to be?*, *Information Management Journal*, 34(1), 64-67.

¹²³ Koenig, M.E., 2012, *What is KM? Knowledge management explained*, *KM World*, 4.

¹²⁴ Horwitch, M., Armacost, R., 2002, *Helping knowledge management be all it can be*, *Journal of Business Strategy*.

¹²⁵ April, K., Izadi, F. A., 2004, *Knowledge management praxis*, Juta and Company, Johannesburg.

¹²⁶ Pauleen, D. J., Gorman, G. E., 2011, *Personal knowledge management: Individual, organizational and social perspectives*, Gower Publishing, Aldershot, Hampshire, United Kingdom.

¹²⁷ Groff, T., Jones, T., 2012, *Introduction to knowledge management*, Routledge, Washington.

¹²⁸ Chang, C. L. H., Lin, T. C., 2015, *The role of organizational culture in the knowledge management process*, *Journal of Knowledge management*, 19(3), 433-455.

¹²⁹ Liu, C. H., Wang, J. S., Lin, C. W., 2017, *The concepts of big data applied in personal knowledge management*, *Journal of Knowledge Management*. 21(1), 213-230.

consentire loro di migliorare l'efficacia dell'apprendimento e aumentare il vantaggio competitivo.

2.3.1 Processi e fasi del Knowledge Management

Il *Knowledge Management* è visto come un processo, in cui si formano molte attività per svolgere gli elementi chiave in ambito strategico. Negli ultimi due decenni, un vasto numero di processi di *Knowledge Management* è stato introdotto da ricercatori da diverse prospettive.

La creazione di conoscenza si riferisce al modo in cui viene creata nuova conoscenza. Questa fase comporta lo sviluppo di nuovi contenuti o la sostituzione di contenuti esistenti all'interno della conoscenza tacita ed esplicita (Ajmal e Koskinen, 2008)¹³⁰.

L'archiviazione della conoscenza si riferisce al processo di registrazione della conoscenza e della sua archiviazione in *database*, in modo da trasferire la conoscenza all'individuo, a gruppi o a soggetti che hanno bisogno di applicarla (Johansen, 2000)¹³¹.

Il trasferimento di conoscenze è un processo importante del *Knowledge Management* e si riferisce al trasferimento di conoscenze in luoghi in cui può essere utilizzato (Pirkkalainen e Pawlowski, 2013)¹³². Questa fase è fondamentale per il successo del processo di *Knowledge Management*, poiché il trasferimento deve produrre cambiamenti nella base di conoscenze (Argote e Ingram, 2000)¹³³.

L'applicazione della conoscenza, invece, si riferisce all'attualizzazione della conoscenza. Questa fase può essere utilizzata per modificare la direzione strategica, risolvere nuovi problemi, migliorare l'efficienza e ridurre i costi (Newell et al., 2004)¹³⁴, sfruttando al meglio le conoscenze create, ad esempio per implementare una migliore pratica.

Una delle principali sfide in ambito di *Knowledge Management* è quella di promuovere la condivisione delle conoscenze con gli altri. In effetti, un *Knowledge Management* efficace si basa su una condivisione di conoscenze di successo (Swacha, 2015)¹³⁵.

La condivisione della conoscenza può essere definita come "lo scambio di conoscenze tra individui" e mira a riunire le fonti di conoscenza e a manipolarle in nuove forme di conoscenza. La condivisione e il trasferimento della conoscenza sono talvolta usati come sinonimi o, in alcuni casi, si ritiene che abbiano contenuti sovrapposti (Dan e Sunesson,

¹³⁰ Ajmal, M.M., Koskinen, K.U., 2008, *Knowledge transfer in project-based organizations: an organizational culture perspective*, *Project Management Journal*, 39(1), 7-15.

¹³¹ Johannsen, C.G., 2000, *Total quality management in a knowledge management perspective*, *Journal of Documentation*, 56(1), 42-54.

¹³² Pirkkalainen, H., Pawlowski, J., 2013, *Global social knowledge management: from barriers to the selection of social tools*, *Electronic Journal of Knowledge Management*, 11(1), 3-17.

¹³³ Argote, L., Ingram, P., 2000, *Knowledge transfer: a basis for competitive advantage in firms*, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 150-169.

¹³⁴ Newell, S., Tansley, C., Huang, J., 2004, *Social capital and knowledge integration in an ERP project team: the importance of bridging and bonding*, *British Journal of Management*, 15(1), 43-57.

¹³⁵ Swacha, J., 2015, *Gamification in knowledge management: motivating for knowledge sharing*, *Polish Journal of Management Studies*, 12(2), 150-160.

2012)¹³⁶. Il successo della condivisione della conoscenza si basava sul grado in cui la conoscenza veniva ricreata nel destinatario.

2.3.2 La misurazione delle prestazioni del Knowledge Management

La misurazione delle prestazioni è una parte cruciale per il *Knowledge Management* (Wang et al., 2015)¹³⁷. Attraverso questo processo di misurazione, è possibile valutare l'efficacia delle pratiche di *Knowledge Management* e giudicare se l'attuale processo di conoscenza possa soddisfare i bisogni di apprendimento nonché fornire un *feedback* di informazioni ed effettuare un miglioramento continuo del *Knowledge Management*.

La valutazione delle prestazioni del *Knowledge Management* include la progettazione di criteri e la selezione dei diversi metodi di valutazione (Wang e Zheng, 2010)¹³⁸. Questo processo consiste in un'analisi qualitativa e un'analisi quantitativa.

Gli approcci qualitativi comuni per la valutazione del *Knowledge Management* includono questionari aperti (Changchit et al., 2001)¹³⁹, interviste ad esperti (Booker et al., 2008)¹⁴⁰, studi di casi e sondaggi (Darroch e McNaughton, 2002)¹⁴¹. Mentre, l'analisi quantitativa è sempre utilizzata per misurare la conoscenza esplicita con una serie di indicatori finanziari (Chen e Chen, 2005)¹⁴².

Wang et al. (2016)¹⁴³ hanno proposto un sistema di indici del *Knowledge Management*, che comprende quattro componenti: il processo del *Knowledge Management*, la struttura organizzativa delle conoscenze, i benefici economici e l'efficienza.

Zhang (2010)¹⁴⁴ ha applicato la *Balanced Scorecard* nella valutazione delle prestazioni del *Knowledge Management* in modo da misurare le prestazioni in base all'aspetto finanziario, del cliente, dei processi interni e della crescita.

Wang e Zheng (2010) hanno proposto, inoltre, un metodo di valutazione delle prestazioni del *Knowledge Management* che include il capitale della struttura, il capitale umano, il

¹³⁶ Dan, P., Sunesson, K., 2012, *Knowledge transfer, knowledge sharing and knowledge barriers – three blurry terms in km*, *Electronic Journal of Knowledge Management*, 10(1), 82-92.

¹³⁷ Wang, K.Y., Tan, L.P., Cheng, S.L., Wong, W.P., 2015, *Knowledge management performance measurement: measures, approaches, trends and future directions*, *Information Development*, 31(3), 239-257.

¹³⁸ Wang, Y., Zheng, J., 2010, *Knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number*, *Procedia Engineering*, 7(8), 38-45.

¹³⁹ Changchit, C., Holsapple, C.W., Viator, R.E., 2001, *Transferring auditors' internal control evaluation knowledge to management*, *Expert Systems with Applications*, 20(3), 275-291.

¹⁴⁰ Booker, L.D., Bontis, N., Serenko, A., 2008, *The relevance of knowledge management and intellectual Capital research*, *Knowledge and Process Management*, 15(4), 235-246.

¹⁴¹ Darroch, J., McNaughton, R., 2002, *Developing a measure of knowledge management*, In Bontis, N., *World Congress on Intellectual Capital Readings*, Butterworth-Heinemann, Boston, MA, 226-242.

¹⁴² Chen, A.P., Chen, M.Y., 2005, *A review of survey research in knowledge management performance measurement: 1995–2004*, *Journal of Universal Knowledge Management*, 1, 4-12.

¹⁴³ Wang, J., Ding, D., Liu, O., Li, M., 2016, *A synthetic method for knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number and group support systems*, *Applied Soft Computing*, 39, 11-20.

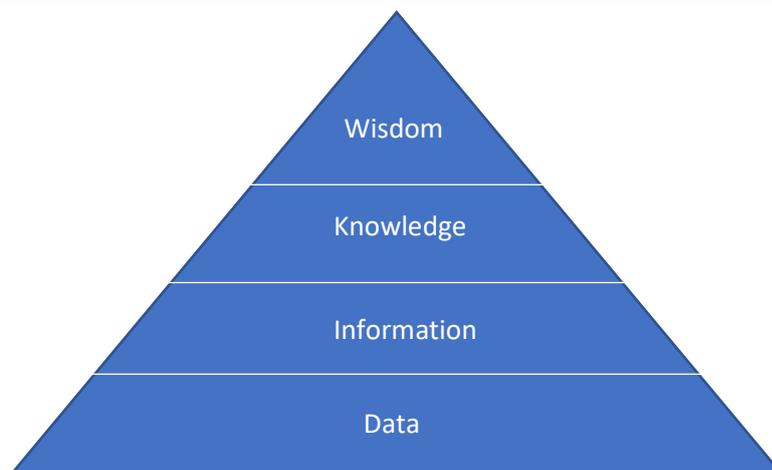
¹⁴⁴ Zhang, R., 2010, *The application of the balanced scorecard in performance assessment of knowledge management*, *The IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, IEEE, Chengdu, China, 16-18 April 2010, 443-447.

capitale mentale e il capitale di mercato. Wu et al. (2009)¹⁴⁵, infine, hanno sviluppato un metodo di valutazione delle prestazioni del *Knowledge Management* basato sull'analisi delle componenti principali con riferimento agli *stock* di conoscenze, al grado di maturità delle organizzazioni di apprendimento, alla gestione delle informazioni e alla capacità di marketing.

Lo sviluppo e l'istituzione della disciplina *Knowledge Management* si basa principalmente sull'importanza della conoscenza come risorsa strategica nelle organizzazioni. Tuttavia, con i cambiamenti nel mondo, si presenta un contesto emergente per la disciplina *Knowledge Management* in quanto è evidente che la conoscenza non è significativa solo per la crescita delle organizzazioni, ma anche per lo sviluppo di soluzioni ai complessi problemi che la società deve affrontare. Affrontare questioni sociali complesse può essere un'impresa difficile poiché le caratteristiche della complessità potrebbero presentare una sfida fondamentale diversa da quelle affrontate a livello micro e messe all'interno della disciplina *Knowledge Management*.

Uno dei modelli più noti appartenenti all'ambito del *Knowledge Management* è costruito utilizzando una filiera logico-concettuale (una gerarchia della conoscenza, delle informazioni e una piramide della conoscenza)¹⁴⁶ particolarmente adatta nel contesto del presente lavoro di ricerca: il modello DIKW (*Data, Information, Knowledge, Wisdom*) (fig. 5).

Fig. 5 – Il modello DIKW



Uno degli aspetti più illuminanti del modello DIKW è che la gerarchia delle informazioni parte dai dati e si completa con la “saggezza”. Nel contesto del presente lavoro di ricerca, tale modello appare particolarmente significativo, considerato che i (*big*) data acquisiti

¹⁴⁵ Wu, Y.L., Wang, X., Wu, H.S., 2009, *Research on the performance measurement of knowledge management based on principal component analysis*, *International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, IEEE, 23-24 May 2009, Wuhan, China, 1-4.

¹⁴⁶ Rowley, J., 2007, *The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy*, *Journal of Information Science*, 33(2), 163-180, doi: 10.1177/0165551506070706.

costituiscono l'elemento (*input*) fondamentale di un processo che può, a certe condizioni, consentire di raggiungere la saggezza e ambire a fornire risposte a problemi concreti.

2.4. Risk Management

Il rischio è senza dubbio una componente di ogni attività (anche a carattere progettuale) caratterizzante le organizzazioni (Ferrero, 1987)¹⁴⁷, “tipicamente intesa come un’istituzione socio-economica attivata e condotta da uno o più soggetti con una significativa propensione al rischio” (Proietti, 2008)¹⁴⁸. “Questo (il rischio) avviene in un ambiente imprevedibile, dove molti fattori interni ed esterni giocano un ruolo nell’organizzazione, che non può essere controllato” (Caldas et al., 2010)¹⁴⁹, ed è una sua condizione (Caprara, 1952)¹⁵⁰.

Il tema del rischio, che pertanto “*qualifica intimamente l’idea stessa di impresa, nonché l’azione di governo che dovrebbe animarla*” (Golinelli, 2008)¹⁵¹, è da tempo dibattuto nella letteratura economico-aziendale ed assume differenti sfaccettature a seconda del punto di osservazione dell’evento rischioso rispetto al fenomeno di riferimento. A partire dagli inizi del ‘900 la dottrina economico-aziendale si è interessata al tema del rischio sottolineando come la sua natura sia collegabile all’incertezza. Tale attenzione, però, non è sempre stata costante; “*gli studi economici, in particolare, lo hanno a lungo ignorato o riduttivamente interpretato, talora per semplicità e/o rigore formale dell’analisi, talaltra ritenendolo irrilevante per il governo d’impresa, in quanto presente in ogni organizzazione ed inteso come transitorio e facilmente eliminabile. Analogamente lo ha fatto la prassi aziendale, specie nei periodi storici nei quali le condizioni ambientali rendevano il rischio poco evidente o ne attenuavano la portata*” (Proietti, 2008, pag. 192)¹⁵².

A partire dalla seconda metà del ‘900, periodo in cui l’arena competitiva e (di riflesso) il contesto decisionale delle organizzazioni iniziava a perdere la tipica “stabilità” per transitare nella complicazione e negli ultimi anni nella complessità o ipercomplessità (Ardigò, 1990; Luhmann, 1990)¹⁵³, l’attenzione al rischio ha ripreso vigore, seppure nella difficoltà di un

¹⁴⁷ Ferrero G., 1987, *Impresa e Management*, Giuffrè, Milano, pag. 116.

¹⁴⁸ Proietti, L., 2008, *Rischio e conoscenza nel governo dell’impresa. Una analisi del «rischio di modello» nel Gruppo Alenia Aeronautica*, *Sinergie Italian Journal of Management*, 76, 191-215.

¹⁴⁹ Caldas M. E., Carrión R., Heras A. J., *Empresa e Iniciativa Emprendedora*, Editex, Madrid, pag. 15.

¹⁵⁰ Caprara U., 1952, *Rendimenti e reddito d’impresa*, in *Produttività*, n. 4; riferimento tratto da Pellicano M., Ciasullo M. V., (a cura di), 2010, *La visione strategica dell’impresa*, Giappichelli, Torino, pag. 361.

¹⁵¹ Golinelli, G. M., 2008, Presentazione, in Proietti L., *Il rischio nel governo delle organizzazioni imprenditoriali tra calcolo e arte*, Aracne, Roma, pag. 15.

¹⁵² Proietti, L., 2008, *Rischio e conoscenza nel governo dell’impresa. Una analisi del «rischio di modello» nel Gruppo Alenia Aeronautica*, *Sinergie Italian Journal of Management*, 76, 191-215.

¹⁵³ Ardigò, A., 1990, “L’ipercomplessità come problema epistemologico e di organizzazione sociale. L’approccio del sociologo dopo le cibernetiche e la sociosistemica”, in Ardigò A., Mazzoli, G., *L’ipercomplessità tra socio-sistemica e cibernetiche*, Franco Angeli, Milano, pagg. 18-19.

“Un sistema che tenta di orientarsi alla sua propria complessità diventa solo ipercomplesso. Esso introduce operazioni per ridurre la complessità ed ulteriori operazioni con cui osserva e può descrivere ciò che accade e come accade. Esso genera quindi prima la complessità e poi una ulteriore estesa complessità [...] allora la scienza è invitata a descrivere l’intera società, quindi anche sé stessa, come sottosistema della società. Descrizione della descrizione della descrizione – senza fine: sarebbe quindi in una auto-descrizione della società che sottomette a

suo preciso inquadramento, riprendendo un ruolo centrale delle decisioni proprie del governo delle organizzazioni (area del decidere) e tanto da spingerlo a reinterpretare la protezione dal rischio includendolo nei “*layout*” come un processo interno.

“*Il concetto di rischio non è facile da intendersi. Esso difficilmente assume uguale significato in situazioni d’azienda apparentemente simili; anzi, a situazioni d’azienda analoghe, corrispondono, molto spesso, situazioni di rischio diverse*” (Bertini, 1987, p. 13)¹⁵⁴.

L’etimologia del termine rischio riferisce, già di per sé, al (possibile) verificarsi di un evento negativo, avverso (Pellicano, Perano, De Falco, 2007)¹⁵⁵. L’analisi del rischio non può essere considerata un’attività scientifica priva di valore. I valori si riflettono nel modo in cui i rischi sono caratterizzati, misurati e interpretati. La combinazione numerica di grandezza e probabilità assume uguale peso per entrambe le componenti. L’implicazione è l’indifferenza tra eventi ad alta probabilità e conseguenza e eventi ad alta probabilità a bassa conseguenza, con valori attesi identici. Tuttavia, le persone mostrano preferenze distinte per l’uno o per l’altro.

La maggior parte delle persone preferisce un rischio che uccida poche persone alla volta piuttosto che un rischio che uccida molte persone contemporaneamente (Vlek, 1996)¹⁵⁶.

Sebbene dal termine rischio si possa già intuitivamente coglierne un primo significato, allo stato attuale risulta ancora improbabile individuare in letteratura una definizione univoca e generalmente condivisa dalla comunità scientifica. Si riporteranno, pertanto, in ordine cronologico, alcune tra le definizioni economiche più significative sul tema del rischio emergenti da una *review* multidisciplinare della letteratura. Ciò non con il fine di riportare in modo compiuto ed esaustivo la profondità del significato del rischio, quanto piuttosto con l’obiettivo di sintetizzare una sua evoluzione multidisciplinare, frutto di osservazioni operate da più angolazioni che bene si adatta nel quadro tematico del presente lavoro.

Il rischio:

- “*è il pericolo del mancato successo di un fatto economico*” (Leitner, 1915)¹⁵⁷;
- “*è un’incertezza misurabile*” (Knight, 1921; Saraceno, 1967)¹⁵⁸;
- “*è ascrivibile alla differenza tra risultati previsionali e risultati consuntivi*” (Corsani 1939; Giannessi, 1960; Beretta, 2004)¹⁵⁹;

se stessa ciò che essa stessa postula per tutto il sistema”. Luhmann N., 1990, *Comunicazione ecologica*, Franco Angeli, Milano, pagg. 164-165.

¹⁵⁴ Bertini U., 1987, *Introduzione allo studio dei rischi nell’economia aziendale*, Giuffrè, Milano, pag. 13.

¹⁵⁵ Pellicano, M., Perano, M., Esposito De Falco, A., 2007, “Analysis of the relational capital devaluation risks within the organization”, in Conference Proceedings of 10th International Conference Society for Global Business & Economic Development (SGBED). Kyoto (Japan) 8 – 11 agosto, pagg. 1699-1711.

¹⁵⁶ Vlek, C. A., 1996, *A multi-level, multi-stage and multi-attribute perspective on risk assessment, decision-making and risk control*, *Risk decision and Policy*, 1(1), 9-31.

¹⁵⁷ Leitner F., 1915, *Die unternehmensrisiken*, Berlino, pag. 4.

¹⁵⁸ Knight F., 1960, *Rischio incertezza e profitto*, La Nuova Italia, Firenze, pag. 233; Saraceno P., 1967, *La produzione industriale*, Libreria Universitaria Editrice, Venezia, pag. 114.

- “è l’alea che si rispecchia nella misura e nella natura del reddito conseguibile, è l’eventualità favorevole o sfavorevole, modificabile, in dati limiti, per elezione di specialità di indirizzi produttivi” (Caprara, 1952b)¹⁶⁰;
- is “the quantitative measurement of an outcome, such a loss or a gain, in a manner such that the probability of the outcome can be predicted” (Spenner et al., 1964)¹⁶¹;
- indica l’incertezza che esiste in relazione all’accadimento di un certo evento causante perdite (Greene, 1971)¹⁶²;
- è la variazione che si verifica quando le perdite reali differiscono dalle perdite attese (Greene et al., 1981)¹⁶³;
- “è la probabilità di un evento combinata con la magnitudine delle perdite e dei profitti che questo evento comporterà” (Borghesi, 1985)¹⁶⁴;
- “is an obstacle to improved decision and policy making” (Dowie, 1999)¹⁶⁵;
- è l’eventualità del verificarsi di un andamento sfavorevole nello svolgimento di un’azione futura (Brunetti, 2003)¹⁶⁶;
- “es la posibilidad de que la empresa no alcance el beneficio esperado. Por ello, el riesgo se suele medir en función de la variabilidad que experimenta el beneficio” (Carreras, 2003)¹⁶⁷;
- è “la probabilità del verificarsi di un evento sfavorevole tale da pregiudicare il raggiungimento di obiettivi predefiniti” (Global Internal Audit, 2001; da Cantamessa et al., 2007)¹⁶⁸;
- “è un elemento intrinseco del progetto [...], più un progetto è innovativo, più è rischioso” (Tonchia, 2007)¹⁶⁹;
- “[...] una crisi non ancora avvenuta” (Nokes et al., 2008)¹⁷⁰;
- si rapporta prima di tutto all’incertezza o – ancora più importante – all’effetto che questa incertezza comporta sulla realizzazione degli obiettivi;

¹⁵⁹ Corsani G., 1939, *La gestione delle imprese mercantili e industriali*, Cedam, Padova, pag. 103; Giannessi E., 1960, *Le aziende di produzione originari. Le aziende agricole*, vol I, Cursi, Pisa; Beretta S., 2004, *Valutazione dei rischi e controllo interno*, Egea, Milano, pag. 9.

¹⁶⁰ Caprara, U., 1952, *Liquidità bancaria e controllo dell’inflazione*, *Rivista Bancaria n. 10-11*, Milano. pag. 506.

¹⁶¹ Spenner, M., Spiegelman L., 1964, *Managerial economics –Decision Making and forward planning*, Homewood, Irvin., pag. 5.

¹⁶² Greene M. R., 1971, *Risk adersion, insurance and future*, Indiana University, Bloomington, IN. pag. 7.

¹⁶³ Green M. R., Trieschmann J. S., 1981, *Risk and insurance*, South Western Publishing Co., Cincinnati, pag. 4.

¹⁶⁴ Borghesi A., 1985, *La gestione dei rischi d’azienda*, Cedam, Padova, pag. 92.

¹⁶⁵ Dowie, J., 1999, *Against risk, Risk Decision and Policy*, 4, pag. 57.

¹⁶⁶ Brunetti, G., 2003, *La vulnerabilità dell’impresa: una riflessione secondo l’approccio aziendale*, *Rivista Italiana di Ragioneria e di Economia Aziendale*, 103(3-4), 125-135.

¹⁶⁷ Carreras Rajadell M., 2003, *Creación de Empresas*, Edicions UPC, Barcelona, pag. 30.

¹⁶⁸ Cantamessa M., Cobos E., Rafele C., 2007, *Il project management. Un approccio sistemico alla gestione dei progetti*, Isedi, Milano, pag. 309.

¹⁶⁹ Tonchia S., 2007, *Il Project Management*, Il Sole 24 Ore, Milano, pag. 191.

¹⁷⁰ Nokes S., Kelly S., 2008, *Il project management Tecniche e processi*, FT Prentice Hall Financial Times, Pearson Paravia Bruno Mondadori SpA., Milano, 292-293.

- “se define como la probabilidad de que ocurra un suceso que impida obtener el resultado en la realización de un negocio” (Branchfield, 2010)¹⁷¹.

Machlis e Rosa hanno sottolineato che esiste un fenomeno come il ‘rischio desiderato’ (ad esempio nelle attività sportive) che le persone aspirano a raggiungere per provare un brivido speciale. Sulla base di questi pensieri, si potrebbe definire il rischio come la possibilità che azioni o eventi umani portino a conseguenze che hanno un impatto su ciò che gli umani apprezzano. Questa definizione implica che gli esseri umani possono e faranno collegamenti causali tra azioni o eventi (Machils, Rosa, 1996)¹⁷².

Il rischio, pertanto, connesso all’attività d’impresa, è un elemento che si trasferisce ai progetti laddove l’impresa adotti una logica *project oriented* per la creazione di valore e la sua sostenibilità, necessari alla sopravvivenza. L’incorrere in eventi che generano variazioni sui risultati attesi è, dunque, un aspetto fisiologico per tutte le organizzazioni.

Taluni autorevoli studiosi, in una visione aziendalista, interpretano il rischio come un “*fattore della produzione aziendale*” (Ferrer et al., 1974)¹⁷³. Il rischio, così inteso, contribuisce a raggiungere quell’equilibrio economico (o reddituale) dell’impresa; quest’ultimo consiste nell’attitudine della gestione d’impresa alla remunerazione di tutti i fattori produttivi, ivi inclusi il capitale di prestito e quello di rischio (Ciambotti, 2005)¹⁷⁴.

Tra rischio e incertezza, come si evince, insiste una qualche relazione. Gobbi fu uno dei primi a tentare di qualificare tale relazione “collegando da un lato il concetto di incertezza ad una assenza più o meno ampia di informazioni sul fatto che un certo evento si verifichi o meno entro un certo intervallo temporale, e da un altro lato il concetto di eventualità ai modi in cui l’evento incerto può rivelarsi. Poiché l’effettiva manifestazione può essere favorevole, indifferente o sfavorevole, il *rischio* è ricondotto all’eventualità sfavorevole” (Gobbi, 1898)¹⁷⁵. Anche Willet agli inizi del ‘900 fornì una definizione di rischio intesa come “*incertezza oggettivata riguardo all’accadimento di un evento indesiderabile*” (Willet, 1901)¹⁷⁶ conferendo al fenomeno, di fatto, un contenuto quantitativo e un carattere oggettivo (Risaliti, 2008)¹⁷⁷.

Nel ventennio successivo Frank Knight fornì un ulteriore contributo sul tema del rischio e dell’incertezza; contributo che resta, ad oggi, ancora un punto di riferimento. La portata del suo pensiero è racchiusa nella sua opera pubblicata *Risk Uncertainty and Profit*: secondo

¹⁷¹ Branchfield J. P., 2003, *Cómo vender a Crédito y Cobrar sin Contratiempos*, Gestión 2000, Madrid, pag. 51.

¹⁷² Machils. G. E, Rosa. E., A. Desired, 1996, *Risk: broadening the social amplification of risk framework*, *Risk Analysis*, 10(1), 161-168.

¹⁷³ Ferrer Paccoss F. M., 1974, *I sistemi d’impresa*, Il Mulino, Bologna, pag. 119.

¹⁷⁴ Ciambotti M., 2005, *Governo strategico d’impresa*, Giappichelli, Torino.

¹⁷⁵ Gobbi U., 1898, *L’assicurazione in generale*, INA, Hoepli, Milano, pag. 15.

¹⁷⁶ Willet, A. H., 1901, *The Economic Theory of risk and Insurance*, *Studies in History, Economic and Public Law*, 14 (2), 6-7.

¹⁷⁷ Risaliti G., 2008, *Gli strumenti finanziari derivati nell’economia delle aziende. Risk Management, aspetti operativi e principi contabili internazionali*, Collana di studi economico-aziendali E. Giannessi, Giuffrè, Milano, pag. 6.

Knight è possibile distinguere tra “incertezza misurabile” (rischio probabilistico), ovvero quantificabile statisticamente grazie al supporto di dati quantitativi riferibili alla storia del fenomeno da analizzare, ed “incertezza non misurabile” (incertezza reale) con tali procedure statistiche. La prima viene definita *rischio*, la seconda *incertezza*¹⁷⁸. Numerosi sono i richiami al contributo di Knight per tentare di definire un tema così complesso e difficile da modellizzare. Con particolare riferimento all’incertezza nello sviluppo di un prodotto, alla fine degli anni ‘90 si rileva un contributo degno di nota. Per Souder e Monaert (1992) le “fonti dell’incertezza” nello sviluppo di un prodotto risiedono:

- nell’identificazione dei bisogni del cliente;
- nella conoscenza e dominio della tecnologia;
- nel comportamento dei concorrenti;
- nella natura e disponibilità delle risorse (Souder, Monaert, 1992)¹⁷⁹.

L’incertezza riveste una importante funzione in primo luogo per la valutazione, poi nella gestione e, infine, nella comunicazione dei rischi ambientali. Per tale motivo assume particolare rilevanza la ponderazione della incertezza all’interno dei processi di valutazione. Ciò assume anche un’ulteriore valenza di asimmetria informativa impattante nelle indagini relative alla valutazione dei rischi. Allorquando le incertezze sono individuate, sarà possibile contrastarle e prevenirle con una migliore comprensione delle motivazioni che hanno indotto la sottovalutazione precedente, apportando miglioramenti nelle varie fasi dei processi decisionali (Renn, 1998)¹⁸⁰.

Negli anni ‘70 e ‘80, i dati sulla percezione pubblica venivano spesso raccolti a un livello altamente aggregato. L’elenco prioritario delle preoccupazioni pubbliche era normalmente basato sui valori medi delle percezioni di rischio individuali che riflettevano sia stime di piccoli gruppi di intervistati che valori medi di campioni più ampi. Il divario tra esperti e pubblico è così ampio che molti gestori del rischio hanno abbandonato l’idea del contributo pubblico e hanno optato per le competenze istituzionali o tecniche (Zackhauser, 1996)¹⁸¹.

Tali fonti di incertezza delimitano le “aree del rischio” definibili come “*quei fattori non pienamente dipendenti dalle scelte progettuali, ovvero non controllabili direttamente, ovvero non completamente prevedibili, ma con un impatto rilevante sul progetto e sulle prestazioni*” (Tonchia, 2001)¹⁸².

¹⁷⁸ Knight, F., 1960, *Rischio incertezza e profitto*, La Nuova Italia, Firenze, pag. 233.

¹⁷⁹ Souder, W. E., Monaert, R. K., 1992, *Integrating Marketing and R&D Project Personnel Within Innovation Projects: An Information Uncertainty Model*, *Journal of Management Studies*, 29(4), 485-512; Tonchia S., 2001, *Il Project Management: come gestire il cambiamento e l’innovazione*, Il Sole 24 Ore, Milano, 191-192.

¹⁸⁰ Renn, O., 1998, *The role of risk perception for risk management*, *Reliability Engineering and System safety*, 59(1), 49-62.

¹⁸¹ Zackhauser, R. V., 1996, *The risk management dilemma*, *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 545(1), 144-155.

¹⁸² Tonchia S., 2001, *Il Project Management: come gestire il cambiamento e l’innovazione*, Il Sole 24 Ore, Milano, 120-121.

Le attività di identificazione, valutazione e definizione delle priorità dei rischi, componenti il processo che identifica un cultura *risk oriented*, vengono oggi meglio esplicitate nella più nota disciplina del *Risk Management*. Con riferimento alle imprese, tale ambito ha avviato il suo processo di teorizzazione dottrinale e applicazione empirica nella metà degli anni '50. A partire da questo periodo storico il *Risk Management* ha avuto una sua evoluzione caratterizzata dalla nascita di due filoni di pensiero: il *Financial Risk Management* ed il *Business Risk Management* (Gaudenzi, 2006)¹⁸³. È solo attorno agli anni '70 che si affronta il *Risk Management* in un'ottica integrata; si definiscono e si distinguono i rischi puri (eventi che provocano perdite) da quelli imprenditoriali (eventi che provocano perdite o guadagni). L'evidenza di tale distinzione fa emergere opportunità imprenditoriali e manageriali (Carter et al., 1984)¹⁸⁴.

Per gestione del rischio si intende il processo di riduzione dei rischi a un livello ritenuto tollerabile dalla società, assicurando tra l'altro il controllo, il monitoraggio e la comunicazione pubblica. Poiché il rischio si riferisce a un potenziale di conseguenze 'reali', è sia una costruzione sociale che una rappresentazione della realtà.

Jim Short ed Eugene Rosa affermano che il rischio non può essere limitato alle sole percezioni e costruzioni sociali ma che i risultati oggettivi in termini di lesioni, decessi e altri tipi di perdite sono parte integrante del concetto di rischio. Il modo in cui le persone selezionano le questioni di interesse e il modo in cui modellano la probabilità può effettivamente essere il risultato di convenzioni culturali e costruzioni sociali (Short, 1989; Rosa, 1996)¹⁸⁵.

L'approccio del *Financial Risk Management* è collegato al più recente concetto di *Enterprise Risk Management* (ERM) (CoSo, 2004)¹⁸⁶ con cui viene posto in evidenza il principio olistico sottostante il processo con cui viene gestito il rischio mediante utilizzo del termine "enterprise". Ciò pone più in evidenza la diffusione del processo di valutazione dei rischi che coinvolge nel relativo processo decisionale diversi soggetti operanti nell'organizzazione aziendale a tutti i livelli, dal *top manager al middle manager*, sino ad arrivare ai ruoli più operativi. È anche da questo approccio che emerge la valenza sistemica del processo della gestione del rischio d'impresa.

¹⁸³ Gaudenzi, B., 2006, *Nuovi approcci di gestione dei rischi d'impresa: verso l'integrazione tra imprenditore e management*, *Sinergie Italian Journal of Management*, (71), 221-243.

¹⁸⁴ Carter R.L., Doherty, N.A., 1984, *The development and scope of Risk Management*, *Handbook of risk management*, Kluwer Harrap Handbooks, 1-11.

¹⁸⁵ Short, J.F., 1989, *On defining, describing and explaining elephants and reactions to them*, *Hazards, Disasters, and Risk Analysis*, 397-419.

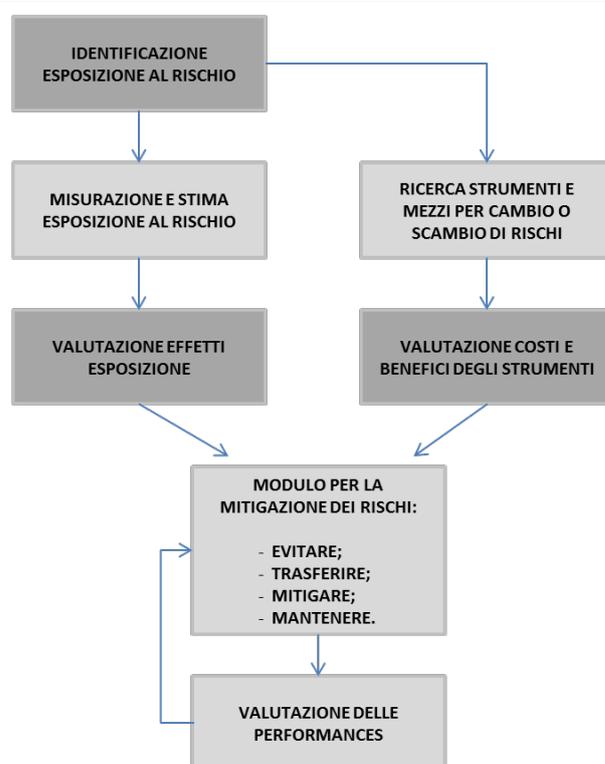
Rosa, E.A., *A metatheoretical foundations for post normal risk*, *Journal of risk research*, 1(1), 15-44.

¹⁸⁶ Nel 2004 il *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* (CoSo) partendo dall'esigenza di disporre di principi base per *Enterprise Risk Management – Integrated Framework*, ha inteso fornire una base per una mutua comprensione. In tal modo "tutte le parti interessate potranno parlare lo stesso linguaggio e comunicare in modo più efficace" [CoSo, 2004, ed. it. IIA, Pricewaterhouse e Coopers, (a cura di), *La gestione del rischio aziendale. ERM – Enterprise Risk Management: un modello di riferimento e alcune tecniche applicative*, Il Sole 24 Ore, Milano, pag. 8].

Con il passare del tempo sono state formalizzate prime ipotesi di standardizzazione dei processi della gestione dei rischi adottabili da organizzazioni operanti in settori diversi. Nel 2009 la ISO (*International Standard Organization*) ha definito uno *standard* per il *Risk Management* adottabile da ogni organizzazione pubblica, privata, sociale, associazione, gruppi o individui: la ISO 31000:2009 che per la Spagna mantiene la stessa denominazione, mentre per l'Italia diviene UNI ISO 31000: 2010¹⁸⁷ corredata della UNI 11230 “*Gestione del Rischio – Vocabolario*” (già in vigore dal 28 marzo 2007) che gestisce i termini base per la gestione del rischio.

Rinviando la trattazione della norma ISO 31000 al successivo paragrafo, nella figura sottostante vengono raffigurate in dettaglio le attività utilizzate per definire il *risk management* come una disciplina formale (Crouhy et al., 2006)¹⁸⁸ (fig. 6).

Fig. 6 – Risk Management Process



Fonte: tratta e adattata da Crouhy, Galai, Mark, 2006

La figura su riportata indica una procedura formalizzata per la riduzione del rischio d'impresa i cui effetti vengono misurati, in ultima analisi, attraverso la valutazione delle

¹⁸⁷ L'ente UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) è un'associazione senza scopo di lucro fondata nel 1921 e riconosciuta sia dallo Stato italiano che dall'Unione Europea e che si dedica allo studio, all'elaborazione, all'approvazione e alla pubblicazione di norme tecniche volontarie (norme UNI). UNI rappresenta l'Italia nelle organizzazioni che si occupano di normazione, in particolare per l'ambito europeo (CEN) e mondiale (ISO). Informazioni tratte da uni.com.

¹⁸⁸ Crouhy, M., Galai, D., Mark, R., 2006, *The Essential of Risk Management*, McGraw Hill, New York, pag. 1.

performances. La corretta interpretazione del modello di cui alla Fig. 6 non deve indurre all'assunzione di un atteggiamento esclusivamente o prevalentemente difensivo, piuttosto chiarire e stimolare l'assunzione del rischio come un elemento fisiologicamente presente all'interno di ogni organizzazione.

La modalità di approccio al rischio impiegate dai *policy makers* ne determineranno la dinamica evolutiva che potrà restare fisiologica (adeguato orientamento al rischio che garantisce opportuna protezione – a meno di eventi imprevedibili), o assumere un grado patologico (mancanza di orientamento al rischio che determina una degenerazione dei rischi “soft” in “hard” oltre che l'incapacità e l'impossibilità di gestione di quelli “hard”).

Le attività correlate alle aree del governo e della gestione delle organizzazioni, manifestano un orientamento rispettivamente al *decision making* (attività decisionale complessa) ed al *problem solving* (attività amministrative operative). Pur tuttavia, ad oggi non si rileva ancora “una demarcazione precisa tra le modalità che attengono alla prima ed alla seconda sfera di azione [...]” (Barile, 2011)¹⁸⁹. I rischi si insediano nell'azione di governo, quanto in quelli della gestione, in modo coerente e proporzionato con la rilevanza delle azioni e dei processi posti in atto nelle rispettive aree.

Un'interessante rilettura del rischio in ottica *supply chain*, fornisce interessanti e rilevanti spunti critici e di riflessione. Tale rilettura costituisce quella che oggi viene definita la *supply chain risk management* (SCRM) (Rowat C., 2003)¹⁹⁰.

Un recente studio condotto su 142 *general managers* e *supply chain managers* in 50 imprese francesi operanti in settori diversi ha dimostrato che per essere efficace la SCRM “deve essere una funzione di gestione inter-organizzativa e strettamente legata alla realtà strategica ed operativa dell'attività in questione”; deve inoltre basarsi “sulla collaborazione (riunioni collaborative, scambi tempestivi di informazioni pertinenti) e sulla creazione di congiunti e comuni processi trasversali con i partner industriali” (Lavastre, Spalanzani, 2012, pagg. 828-888)¹⁹¹.

Già un decennio fa (2002) Christopher e Towill indicavano che la *supply chain* stava gravando sull'esposizione al rischio delle organizzazioni (Christopher e Towill, 2002)¹⁹²; a breve distanza Blackhurst et al. (2005)¹⁹³ confermava che le imprese erano di fronte ad un

¹⁸⁹ Barile, S., 2011, *Management Sistemico Vitale. Decisioni e scelte in ambito complesso*, International Printing Srl, Avellino, pag 16.

¹⁹⁰ Tale interpretazione è relativamente giovane. Il primo *workshop* tematico si è tenuto in Gran Bretagna nel 2003 (Rowat C. 2003, “LRN supply-chain risk and vulnerability workshop”, in *Logistics & Transport Focus*, Vol. 5, n. 2, pagg. 68-69]. Fu proprio da quell'evento che emerse con forza la volontà di creare un *supply-chain risk management team* con l'obiettivo di individuare, mitigare e gestire il rischio lungo tutta la filiera della *supply chain*.

¹⁹¹ Barile, S., 2011, *Management Sistemico Vitale. Decisioni e scelte in ambito complesso*, International Printing Srl, Avellino, pp. 828-888.

¹⁹² Christopher M., Towill D.R., 2002, *Developing market specific supply chain strategies*, *International Journal of Logistic Management*, 13(1), 1-14.

¹⁹³ Elkins, D., Handfield, R. B., Blackhurst, J., Craighead, C. W., 2005, 18 ways to guard against disruption, *Supply Chain Management Review*, 1(1), 46-53.

incremento dei rischi riferibili alla *supply chain* e Zsidisin et al. ne sottolineava le drammatiche conseguenze degli effetti negativi (Zsidisin et al., 2005)¹⁹⁴.

Tale aumento dei rischi è stato attribuito alla globalizzazione dei mercati, riduzione del ciclo di vita dei prodotti, complessità delle reti internazionali dei *partner* industriali, imprevedibilità della domanda, incertezza degli approvvigionamenti, pressione sui costi, necessità di acquisire capacità *lean* e *agile*, adozione continua di esternalizzazioni e delocalizzazioni, dipendenza da fornitori (Thun e Hoenig, 2011; Narasimhan e Talluri, 2009; Craighead et al., 2007; Hillman, 2006; Jüttner, 2005; Hult et al., 2004; Harland et al., 2003; Mason-Jones et al., 2000)¹⁹⁵.

Questo breve richiamo alla SCRM lascia intendere come l'attenzione al rischio, anche in virtù della ancora viva crisi finanziaria dei mercati, continui ad infervorare la mente degli studiosi, dei professionisti, dei *managers*. Certo, viene da chiedersi come tale approccio metodologico possa integrarsi in quelle organizzazioni già orientate al rischio, sia formalizzato (con procedure precise anche riferibili a certificazioni ISO 31000:2009) che non; ed ancora, come gestire eventuali sovrapposizioni o integrazioni di processi tra il *risk management* e la SCRM, sia da un punto di vista operativo che di individuazione di figure interne o esterne specificamente dedicate a tali ruoli. Una possibile soluzione potrebbe essere individuata nella standardizzazione delle procedure ISO che nella loro generalizzazione iniziale possono essere adattate ad organizzazioni operanti in qualsiasi settore. Tale prospettiva, tuttavia, sconta il limite della caratterizzazione, che resta a cura dei soggetti interni a tali organizzazioni, i quali dovranno calzare, dal generale al particolare, la normativa internazionale.

Tornando alla gestione dei rischi per un'impresa, quest'ultima, in termini più generali, consiste nella selezione della tipologia e del livello di rischio che la stessa ritiene più opportuna assumere relativamente a decisioni che, perlopiù, attiene si riferiscono al sacrificio di risorse correnti per un "ritorno futuro", seppure incerto. "*In this sense, risk management ad risk taking aren't opposites, but two sides of the same coin*" (Crouhy et al., 2006)¹⁹⁶.

¹⁹⁴ Zsidisin, A., Ragatz G.L., Melnik S.A., 2005, *An institutional theory perspective of business continuity planning for purchasing and supply management*, *International Journal of Production Research*, 43(16), 3401-3420.

¹⁹⁵ Thun, J.H., Hoenig G., 2011, *An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry*, *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242-249; Narasimhan, R., Talluri S., 2009, *Perspectives on risk management in supply chains*, *Journal of Operations Management*, 27(2), 114-118; Craighead, C. W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M. J., Handfield, R., 2007, *The severity of supply chain disruptions: design characteristics and mitigation capabilities*, *Decision Sciences*, 38(1), 11-13; Jüttner, U., 2005, *Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective*, *International Journal of Logistics Management*, 16(1), 121-141; Hult G.T., Ketchen M:D., Slater S.F., 2004, *Information processing, knowledge development, and strategic supply chain performance*, *Academy of Management Journal*, 47(2), 241-253; Harland, C., Brenchley R., Walker H., 2003, *Risk in supply networks*, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(1), 5162; Mason-Jones R., Naylor, Towill D.R., 2000, *Matching your supply chain to the marketplace*, *International Journal of Production Research*, 38(17), 4061-4070.

¹⁹⁶ Crouhy, M., Galai, D., Mark, R., 2006, *The Essential of Risk Management*, McGraw Hill, New York, pag. 1.

Occorrerà, pertanto, identificare le tipologie di rischio, definirne l’impatto ed i relativi possibili danni, stimarne una probabilità del manifestarsi e predisporre possibili azioni di risposta. Nella Fig. 7 vengono individuate le tipologie di rischio, che, a ben vedere, corrispondono con gli orientamenti della letteratura precedentemente trattata. Più in dettaglio, nella successiva Tab. 10, si riporta una prima caratterizzazione del *risk management*.

Fig. 7 – Tipologie di Rischi



Fonte: Borghesi, 2011

Tab. 10 – Tabella base di RM

TIPOLOGIA DI RISCHIO	POSSIBILE IMPATTO	PROBABILITÀ	POSSIBILI RISPOSTE
Descrizione della tipologia di rischio	Alto Medio Basso	Compresa tra 0 e 1 Nulla, Bassa, Media, Alta	Pianificazione di risposte in contrasto all’evento dannoso

Tratta e adattata da: Bove, 2008

L’assunzione di comportamenti manageriali *risk oriented* si è avvalorata in quanto negli ultimi anni tale orientamento, nella gestione dei progetti, veniva interpretato come una maggiore enfasi nella fase di controllo del progetto che di per sé non può essere considerato bastevole per garantirne il successo. Nel 1994 Rook fornisce un’interessante distinzione tra *problem management* (che attiene alla gestione progettuale) e *risk management* assumendo che l’area della problematicità e l’area del rischio risultano particolarmente connesse. Interviene, in tale ambito l’area del *problem solving* e del *decision making* nell’ambito delle quali opportune valutazioni, rispetto ai rischi, possono essere realizzate per una loro mitigazione.

I processi di valutazione e trattamento dell’area dei rischi, nel presente lavoro, costituisce un ambito particolarmente valoriale dal momento che supportano le organizzazioni a definire

processi decisionali maggiormente efficaci in termini risolutivi di specifici problemi. L'ambito del rischio, come evidente, attiene a momenti antecedenti e concomitanti la formulazione delle decisioni dal momento che guida la costruzione di possibili scenari su cui le decisioni devono essere costruite per risolvere uno o più problemi. L'area dei rischi si individua anche nell'ambito della raccolta di informazioni e dati. Come descritto nel precedente par. 2.2., i processi di raccolta dei *big data* non nascondono criticità e problematiche che, potenzialmente, possono inficiare in primo luogo la qualità di dati e informazioni e, in secondo luogo, generare alterazioni nella costruzione degli scenari utili a classificare rischi e ad assumere le decisioni. In tal senso, è proprio la *blockchain* ad impattare sulla mitigazione dei rischi nell'ambito della raccolta dei *big data* come descritto nel precedente par. 2.2.2.

2.5. Service Quality

La qualità dei servizi è oggetto di innumerevoli studi, spinti, principalmente, dalla necessità ed evidenza che i servizi rappresentano una parte importante dell'economia mondiale. Le caratteristiche peculiari che li connotano e li differenziano rispetto ai prodotti possono rinvenirsi nella loro eterogeneità, intangibilità, nella non separazione tra le fasi di produzione-consegna-consumo e la partecipazione del cliente come co-produttore (Soteriou e Chase, 1998; Parasuraman, 1987)¹⁹⁷. Queste caratteristiche tipiche dei servizi, se da un lato vanno ad aumentare l'essenza stessa dei servizi, dall'altra creano difficoltà per le imprese di servizi, intesi come erogatori degli stessi, soprattutto nell'ambito della gestione e del controllo dei fattori che influiscono sulla qualità. Di conseguenza, ciò va ad aumentare il grado di incertezza che le imprese di servizi sono costrette ad affrontare dalla fase di produzione del servizio fino alla fase di consegna finale (Gowan et al., 2001)¹⁹⁸.

La qualità del servizio, nella prospettiva delle organizzazioni, significa stabilire requisiti e specifiche. L'obiettivo della qualità si fonda principalmente sulla soddisfazione delle esigenze dei clienti, la cui valutazione dipende essenzialmente da quanto bene i servizi forniti dall'organizzazione soddisfano o superano le loro aspettative (Parasuraman, Zeithaml & Berry 1988)¹⁹⁹. Trattasi di un concetto che ha creato forti dibattiti tra gli studiosi a causa delle difficoltà riscontrate sia nel definirlo che nel misurarlo. In particolare, Asubonteng et

¹⁹⁷ Soteriou, A. C., Chase, R. B., 1998, *Linking the customer contact model to service quality*, *Journal of Operations Management*, 16(4), 495-508.

Parasuraman, A., 1987, *Customer-Oriented Corporate Cultures are Crucial to Services Marketing Success*, *The Journal of Services Marketing*, 1(1), 39-46.

¹⁹⁸ Gowan, M., Seymour, J., Ibarreche, S., Lackey, C., 2001, *Service quality in a public agency: same expectations but different perceptions by employees, managers, and customers*, *Journal of Quality Management*, 6(2), 275-291.

¹⁹⁹ Parasuraman, A., Zeithaml, V., Berry, L., 1988, *SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring customer perceptions of service quality*, *Journal of Retailing*, 9(3), 160-162.

al. (1996)²⁰⁰ definiscono e misurano la qualità del servizio in termini di soddisfacimento dei bisogni o delle aspettative dei clienti. Sotto questo profilo, dà conto e misura la qualità del servizio come la differenza tra le aspettative del cliente sul servizio e il servizio realmente percepito. Se le aspettative sono maggiori delle prestazioni, la qualità percepita è meno che soddisfacente e, quindi, si verifica l'insoddisfazione del cliente (Parasuraman et al., 1985)²⁰¹. Di converso, un'eccezionale qualità del servizio crea un vantaggio competitivo per le organizzazioni, determinando vendite superiori e, di conseguenza, un aumento dei profitti. Kotler (1997)²⁰² sottolinea, al tempo stesso, che se il servizio percepito di una data organizzazione supera il servizio previsto, è probabile che i clienti si fidelizzino su un dato fornitore di servizi, raccomandandolo anche ad altri.

Un momento particolarmente importante per la realizzazione dei servizi, quindi, è il coinvolgimento dei clienti, rappresentando esso un aspetto fondamentale per dare coerenza e uniformità all'espletamento, in maniera sostenibile, dei servizi medesimi.

In tale contesto, peculiare rilevanza assume l'intangibilità dei servizi che pur rappresentando una caratteristica principale degli stessi, risulta, di fatto, difficile da misurare su specifici *standard* definiti. Conseguentemente, data la mancanza di attributi tangibili, i consumatori tendono a cercare segni di qualità attraverso determinati fattori come l'ambiente del servizio, la reputazione e la comunicazione. Ne deriva che, il personale in prima linea e le strutture fisiche assumono un'importanza chiave nel giudizio dei clienti.

Per quanto riguarda la misurazione della qualità del servizio, il modello proposto da Parasuraman, Berry e Zeithalm nel 1985 è sicuramente il più utilizzato. La premessa di fondo è che la soddisfazione del cliente è funzione comparativa tra le aspettative di quest'ultimo e le prestazioni effettive del servizio (Zeithalm et al., 1988; Grönroos, 1995; Parasuraman et al., 1985; Robledo, 2001)²⁰³. Di conseguenza, il cliente effettua una valutazione basata sulla conferma o smentita di quanto si aspettava di ricevere. Se le aspettative vengono soddisfatte o superate, si ottiene la soddisfazione (o addirittura il piacere). Quando il *gap* (globale) previsto dal servizio percepito esiste, può essere spiegato da una serie di altri *gap* (parziali): *gap* di percezione tra aspettative e gestione del cliente

²⁰⁰ Asubonteng, P., McClearyKarl J., SwanJohn, E., 1996, *SERVQUAL Revisited: A Critical Review of Service Quality*, *Journal of Services Marketing*, 10(6), 62-81.

²⁰¹ Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry, L. L., 1985, *A conceptual model of service quality and its implications for future research*, *Journal of Marketing*, 49(4), 41-50.

²⁰² Kotler, P., 1997, *Managing service businesses and product support services*. In *Marketing Management. Analysis, Planning, Implementation, and Control*, 9th edn. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 465-492.

²⁰³ Zeithaml, V. A., Berry, L. L., Parasuraman, A., 1988, *Communication and control processes in the delivery of service quality*, *Journal of marketing*, 52(2), 35-48; Grönroos, C., 1995, *Marketing – Gestão e Serviços: A competição por serviços na hora da verdade*, Tradução Cristina Bazan, Campus, Rio de Janeiro; Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry, L. L., 1985, *A conceptual model of service quality and its implications for future research*, *Journal of Marketing*, 49(4), 41-50. Robledo, M. A., 2001, *Measuring and managing service quality: integrating customer expectations*, *Managing Service Quality*, 11(1), 22-31.

(mancanza di attenzione al cliente); divario di specifica della qualità del servizio; divario di erogazione del servizio e divario di comunicazione esterna (Parasuraman et al., 1985).

La misurazione della qualità del servizio si basa principalmente su cinque dimensioni: elementi tangibili (caratteristiche delle strutture fisiche, delle attrezzature, del personale e del materiale di comunicazione), affidabilità (la capacità di eseguire il servizio promesso in modo affidabile e accurato), reattività (la volontà di aiutare i clienti e fornire tempestiva risposte), empatia (l'attenzione premurosa e individualizzata fornita al cliente) e sicurezza (la conoscenza e la cortesia dei dipendenti e la loro capacità di trasmettere fiducia e sicurezza).

Gil, Hudson e Quintana (2006)²⁰⁴ affermano che quando si tratta di clienti, è la loro percezione della qualità del servizio offerto che determina il successo. In altri termini, la misura finale della qualità del servizio clienti è semplicemente il modo in cui il cliente lo percepisce. Le percezioni sono poi, a loro volta, considerate in relazione alle aspettative. Ne consegue, sintetizzando, che i clienti percepiscono il servizio in termini di qualità dello stesso e di soddisfacimento o meno delle loro esperienze (Parasuraman, Zeithmal e Berry, 1991)²⁰⁵. Le percezioni dei clienti sono, dunque, vitali per le organizzazioni che erogano servizi essendo le “vendite” fortemente influenzate da una percezione positiva. In particolare, il punto di partenza per la qualità del servizio è la misurazione e l'analisi del servizio medesimo (Edvardsen et al., 1994). Tuttavia, la qualità non viene migliorata a causa della mancanza di strumenti di misurazione progettati *ad hoc* (Farrell et al, 1991). A tal proposito, occorre sottolineare come la presenza di idonei strumenti di misurazione si riveli importante anche per identificare i problemi relativi alla qualità, consentire il confronto prima e dopo una modifica del servizio nonché stabilire *standard* di erogazione dello stesso (Bryslan e Curry, 2001)²⁰⁶. Ciò non toglie che sono stati proposti molti modelli di qualità del servizio (Phillip e Hazlett, 1997; Robledo, 2001)²⁰⁷. Tra questi, il metodo più diffuso, è SERVQUAL (Asubonteng et al., 1996; Robinson, 1999; Waugh, 2002)²⁰⁸ sviluppato da Parasuraman. Il SERVQUAL è, quindi, uno strumento che può essere utilizzato comparativamente a scopo di *benchmarking*. La scala del modello SERVQUAL si basa sulla qualità percepita, che è il giudizio del cliente sull'eccellenza di un servizio (Zeithaml,

²⁰⁴ Gil, S. M., Hudson, S., Quintana, T. A., 2006, *The influence of service recovery and loyalty on perceived service quality: a study of hotel customers in Spain*, *Journal of hospitality & leisure marketing*, 14(2), 47-68.

²⁰⁵ Parasuraman, A., Berry, L. L., Zeithaml, V. A., 1991, *Understanding customer expectations of service*, *Sloan management review*, 32(3), 39-48.

²⁰⁶ Bryslan, A., Curry, A., 2001, *Service improvements in public services using SERVQUAL*, *Managing Service Quality: An International Journal*, 11(6), 389-401.

²⁰⁷ Philip, G., Hazlett, S. A., 1997, *The measurement of service quality: a new P-C-P attributes model*, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14(3), 260-286; Robledo, M. A., 2001, *Measuring and managing service quality: integrating customer expectations*, *Managing Service Quality*, 11(1), 22-31.

²⁰⁸ Asubonteng, P., McCleary Karl J., SwanJohn, E., 1996, *SERVQUAL Revisited: A Critical Review of Service Quality*, *Journal of Services Marketing*, 10(6), 62-81; Robinson, S., 1999, *Measuring service quality: current thinking and future requirements*, *Marketing Intelligence & Planning*, 17(1), 21-32; Waugh, R. F., 2002, *Academic staff perceptions of administrative quality at universities*, *Journal of Educational Administration*, 40(2), 172-188.

1987)²⁰⁹. Parasuraman ha originariamente identificato dieci fattori generici determinanti della qualità del servizio per l'industria dei servizi. Questi fattori determinanti erano elementi tangibili, affidabilità, reattività, competenza, cortesia, credibilità, sicurezza, accesso, comunicazione e comprensione del cliente. In una fase successiva, è stato sviluppato il SERVQUAL, che si basa su 22 elementi. Gli elementi dello strumento rappresentano cinque dimensioni, come riprodotto dalla fig. 8.

Fig. 8 – Le cinque dimensioni della service quality



Fonte: tratto e adattato da Parasuraman, Zeithaml, Berry, 1988

- **Tangibilità:** Zeithaml et al. (2002)²¹⁰ definiscono gli elementi tangibili come l'aspetto di strutture fisiche, attrezzature, personale e materiale di comunicazione. I materiali tangibili forniscono rappresentazioni fisiche del servizio che i clienti utilizzano per valutare la qualità. Sebbene i materiali siano spesso utilizzati dalle società di servizi, per migliorare la propria immagine e fornire continuità e qualità del segnale ai clienti, la maggior parte delle suddette società combina i materiali con un'altra dimensione per creare una strategia di qualità del servizio.
- **Affidabilità:** Zeithaml descrive l'affidabilità come la capacità di eseguire il servizio promesso in modo affidabile e accurato. Ricerche precedenti hanno dimostrato che l'affidabilità è l'elemento più importante per la percezione della qualità del servizio tra i consumatori. Proprio per tale motivo, i clienti decidono di fare affari con organizzazioni che mantengono le loro promesse.
- **Reattività:** è considerata come la volontà di supportare i clienti e di fornirgli un servizio tempestivo. Questa dimensione si concentra sull'attenzione e la tempestività

²⁰⁹ Zeithaml, V.A., 1987, *Defining and Relating Prices, Perceived Quality and Perceived Value*, Marketing Science Institute, Cambridge, MA.

²¹⁰ Zeithaml, V. A., Parasuraman, A., Malhotra, A., 2002, *Service quality delivery through web sites: a critical review of extant knowledge*, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(4), 362-375.

nell'affrontare le richieste, le domande, i reclami ed i problemi dei clienti. La reattività è comunicata/trasmessa ai clienti mediante il tempo che devono attendere per ricevere assistenza o attenzione ai loro problemi. Più esattamente, comprende la nozione di flessibilità e capacità di personalizzare il servizio in base alle esigenze della clientela. È importante che l'organizzazione del servizio esamini il processo di erogazione del servizio dalla prospettiva del cliente, piuttosto che da quella propria.

- *Assicurazione*: Ispirare fiducia e sicurezza. Questa dimensione è importante per i servizi che i clienti percepiscono come “ad alto rischio” o per i quali si sentono incerti sulla loro capacità di valutarne i risultati (es. servizi medici e legali). Ad essa si ricollega la conoscenza e la cortesia dei dipendenti oltre che la loro capacità di infondere fiducia.

Nonostante la sua popolarità, il modello SERVQUAL presenta numerose critiche (Barabakus e Boller, 1992; Buttle, 1996; Cronin e Taylor, 1992)²¹¹. Bennington e Cummane (1998)²¹² hanno sintetizzato i problemi più importanti su tale modello. In particolare, sostengono che il modello SERVQUAL confonde risultato, processo e aspettativa; non è generico e necessita di essere personalizzato per il servizio in questione; trascura il fattore prezzo; a causa di problemi psicometrici, le cinque dimensioni potrebbero infatti non rappresentarne cinque costrutti diversi. Tuttavia, ci sono anche strutture di qualità del servizio che non incorporano esplicitamente percezioni e aspettative come autonomi costrutti chiave. Lehtinen (1983)²¹³ definisce la qualità del servizio in termini di qualità aziendale dell'immagine, qualità interattiva e qualità fisica. Grönroos (1983)²¹⁴ identifica, invece, due dimensioni principali della qualità del servizio: la qualità tecnica, indicando cosa viene fornito, e la qualità funzionale, esprimendo, come viene fornito quel determinato servizio. In ogni caso, entrambe le dimensioni sono tra di loro interdipendenti e proporzionali.

2.6. Theoretical framework

Un *theoretical framework* può essere definito come “*un insieme logicamente sviluppato e connesso di concetti e premesse, sviluppati da una o più teorie, che un ricercatore crea per impalcare uno studio*” (Varpio et al., 2020)²¹⁵. Per creare un quadro teorico, il ricercatore deve definire tutti i concetti e le teorie che forniranno le basi della ricerca, unirli attraverso

²¹¹ Babakus, E., Boller, G. W., 1992, *An empirical assessment of the SERVQUAL scale*, *Journal of Business Research*, 24(3), 253-268; Buttle, F., 1996, *SERVQUAL: review, critique, research agenda*, *European Journal of Marketing*, 30(1), 8-32; Cronin, Jr. J.J., Taylor, T.S., 1992, *Measuring service quality: a re-examination and extension*, *Journal of Marketing*, 56(3), 55-68.

²¹² Bennington, L., Cummane, J., 1998, *Measuring Service Quality: a hybrid methodology*, *Total Quality Management*, 9(6), 395-405.

²¹³ Lehtinen, J. R., 1983, *Customer Oriented Service System*, Service Management Institute, Working Paper, Helsinki, Finland.

²¹⁴ Gronroos, C., 1983, *Strategic Management and Marketing in the Service Sector*, Marketing Science Institute, Boston.

²¹⁵ Varpio, L., Paradis, E., Uijtdehaage, S., Young, M., 2020, *The distinctions between theory, theoretical framework, and conceptual framework*. *Academic Medicine*, 95(7), 989-994.

connessioni logiche e mettere in relazione questi concetti con lo studio che si sta svolgendo. In breve, un quadro teorico è un riflesso del lavoro in cui il ricercatore si impegna per utilizzare una teoria in un determinato studio. Il *theoretical framework* proposto nella presente sezione è costruito impiegando un approccio deduttivo della ricerca rispetto a: 1) obiettivi e domande di ricerca (come dettagliati nel precedente par. 1.1.); 2) risultanze della SLR (come dettagliata nel precedente par. 1.2.1.); 2.1. definizione delle aree tematiche tra 1) e 2).

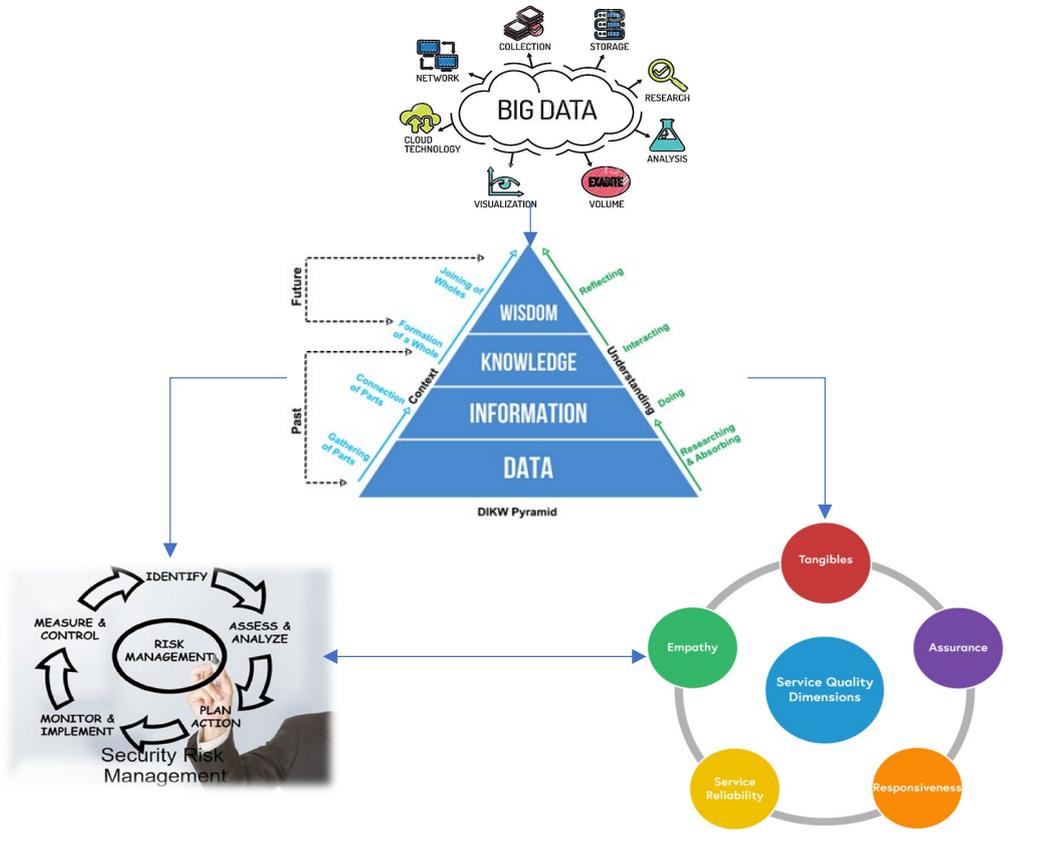
Obiettivo del presente lavoro è chiarire la conoscenza disponibile rispetto alla tematica dei *big data* nelle infrastrutture per migliorare la sicurezza e la qualità dei servizi prestati. Partendo dalle risultanze della SLR, l'area tematica iniziale è quella della tecnologia, con particolare riferimento ai “*big data*” (includendo anche l'*Internet of Things*, il *Cloud*, l'*Artificial Intelligence*, *data analytics*, *machine learning*, *data science*). Come definiti nella precedente sezione 2.2. aspetti materiali e immateriali della tecnologia consentono di acquisire una mole massiva di dati frutto del comportamento umano e non (strutture e infrastrutture, veicoli, etc.).

Gli *analytics* affrontano un primo processo dei dati con il fine di supportare, tra le altre cose, analisi predittive e supportare la definizione di scenari. Come giungere a completare un quadro decisionale partendo dai dati? Il prototipo DIKW presentato nella sezione dedicata al *Knowledge Management*, pare perfettamente compatibile con la necessità di immaginare un modello teorico che parta dai dati per giungere all'obiettivo di migliorare la sicurezza del patrimonio infrastrutturale italiano. Dai (*big*) data → alle informazioni (dati quantitativi → analisi → risultanze) → alla conoscenza → alla saggezza.

La “*wisdom*” (derivante da una maggiore e migliore conoscenza grazie ai *big data*), rispetto alle decisioni operative da assumere e realizzare in concreto, può avere impatti significativi sui rischi se l'azione di governo delle infrastrutture è *risk oriented*. In tal senso, la conoscenza degli ambiti applicativi e di contesto (Quali servizi offro? Dove li offro? Quali sono le implicazioni dell'utilizzo di tali servizi e, pertanto, quali rischi posso definire e per chi?) è presupposto per chiarire l'ambito del *risk management* e integrarlo in un processo decisionale che utilizza la saggezza (che proviene dai *big data*) per rendere più fruibili i servizi del patrimonio infrastrutturale italiano. L'ambito tematico del *risk management* risulta centrale nel modello proposto. Una volta innescato il processo di *risk management*, implementato mediante l'impiego delle tecnologie esistenti (materiali come ad esempio la sensoristica e immateriali come ad esempio l'impiego della *blockchain* nella raccolta dei *big data*), si determina una condizione in cui la fruibilità dei servizi infrastrutturali (come ad esempio la viabilità) aumenta. In altre parole, una maggiore attenzione al rischio impatta anche sulla qualità dei servizi offerti nel momento in cui si usufruisce degli elementi

costituenti il patrimonio infrastrutturale. Da ciò la presenza dell'area tematica della *Service Quality*.

Fig. 9 – Theoretical framework



La fig. 9 riporta, in forma grafica, i singoli ambiti teorici componenti il modello elaborato e proposto nel presente lavoro di tesi. In particolare, un modello dove emerge l'interazione, così come dettagliate nella presente sezione, tra la tecnologia disponibile e utilizzabile (*sensoristica, repository, Internet of Things, Cloud, Artificial Intelligence, data science, data analysis, machine learning*), la capacità umana di tramutare dati in informazioni e le informazioni in conoscenza, l'analisi e la gestione del rischio, l'attenzione alla qualità offerta, che può rappresentare una valida base teorica utile ad assumere decisioni finalizzate alla preservazione del patrimonio infrastrutturale italiano con positive ricadute in ambito sociale, economico e ambientale.

Il prossimo capitolo tratterà del *multiple case study*, ovvero dei progetti AINOP e ARGO realizzati sul territorio nazionale.

CAPITOLO 3

MULTIPLE CASE STUDY: AINOP E ARGO

Sommario: 3.1. Introduzione metodologica; 3.1.1. *Scelta dei casi di studio*; 3.2. Archivio Informatico Opere Pubbliche (AINOP); 3.2.1. *Sistema di monitoraggio dinamico*; 3.2.2. *Linee guida per rischio, sicurezza e monitoraggio dei ponti esistenti*; 3.3. Progetto ARGO; 3.3.1. *Digital Inventory*; 3.3.2. *Inspection Process*; 3.3.3. *Attività innovative: Digital Twin*; 3.3.4. *Attività innovative: monitoraggio strutturale*; 3.3.5. *AINOP e ARGO*

3.1. Introduzione metodologica

La natura esplorativa, descrittiva ed esplicativa del presente lavoro di ricerca, in quanto stadi di un processo, hanno consentito un miglioramento continuo della definizione e focalizzazione della tematica affrontata.

Appartenente alla branca post-positivista della metodologia della ricerca, lo studio di caso “*esplora il fenomeno nella sua situazione naturale e utilizza molteplici metodi per raccogliere, interpretare, comprendere, spiegare e estrarre il significato da essi; [...] è un multi-metodo in focus che studia i fatti nelle loro condizioni naturali, tentando di cogliere il senso del fenomeno e interpretandolo*” (Pinnelli, 2005, p. 12)²¹⁶.

La metodologia del *case study* (Yin, 1983)²¹⁷ persegue una generalizzazione teorica e non statistica.

Il caso di studio viene definito come una investigazione empirica che:

- “*ricerca fenomeni contemporanei nel contesto nella loro vita reale, specialmente quando i confini tra il fenomeno e il contesto non sono chiaramente evidenti*” (Yin, 2017, p. 13)²¹⁸.

Tale ricerca:

- è basata su fonti di prova multiple, con dati convergenti in modo triangolare e secondo la prospettiva della triangolazione;
- “*beneficia dello sviluppo preliminare di proposte teoriche per guidare la raccolta e l’analisi dei dati*” (Yin, 2017, p. 13)²¹⁹.

Lo studio di casi multipli è da considerarsi come una variante del *case study research* (Yin, 2017). Nella redazione del presente lavoro, la metodologia dello studio di caso

²¹⁶ Pinnelli S. (a cura di), 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica*, Armando Editore, Roma; ed. orig. Yin R. K., 2003, *Case Study Research. Design and Methods*. Third Edition, Sage Publications Inc., California, U.S..

²¹⁷ Yin, R.K., 1983, *The case study method: annotated bibliography*, Cosmos Corporation, Washington, D.C.

²¹⁸ Yin, R.K., 2017, *Case study research. Design and Methods, II ed.*, Sage Publications, Thousand Oaks.

²¹⁹ *Ibidem*.

multiplo è stata impiegata mediante la puntuale impostazione fornita dall'ideatore di tale metodologia qualitativa: Robert Yin.

Con particolare riferimento all'evidenza delle *multiple source of information*, per la redazione dei casi di studio sono state impiegate fonti primarie di informazione (interviste al personale del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili e al personale di Autostrada per l'Italia, informazioni tratte dai siti istituzionali ad integrazione dei dati mancanti). Anche la catena delle evidenze è stata pianificata ante ricerca e mantenuta nella ricerca *ongoing* al fine di garantire la dimostrabilità dei dati. Tali approcci sono definiti da Yin come approcci tattici nella applicazione della strategia della ricerca qualitativa del *case study*.

Lo studio di caso multiplo riflette differenti situazioni progettuali (Yin, 2017) che richiede il settaggio di multiple unità di analisi, in pieno accordo con la realtà dei due differenti progetti descritti nel presente capitolo.

La descrizione dei casi è stata dettagliata ed effettuata in modo asincrono così da non influenzare la raccolta dati. Tutte le informazioni sono state raccolte e catalogate in due differenti *repository*; un terzo *repository* è stato creato per la documentazione relativa al *cross* tra i due progetti.

L'indagine in profondità dei due progetti è stata realizzata in modo oggettivo così da non interporre influenze dell'osservatore percipiente, nella narrazione dei casi di studio.

3.1.1. Scelta dei casi di studio

L'individuazione dei casi di studio è stata realizzata sulla base della contestualizzazione del problema della ricerca. AINOP e ARGO, infatti, rappresentano uno strumento finalizzato a fornire risposte concrete per migliorare la sicurezza del patrimonio infrastrutturale italiano. I due progetti sono contestualizzati nel settore delle infrastrutture e utilizzano i *big data* per le loro finalità. Non nascono simbioticamente per raggiungere scopi unitari, ma interagiscono tra di loro (in particolare ARGO su AINOP) per il raggiungimento di una finalità comune (come si vedrà nel prosieguo).

3.2. Archivio Informatico Opere Pubbliche (AINOP)

L'Italia vive oggi una condizione di criticità riferita alla sicurezza della propria dotazione infrastrutturale. Il riferimento è, in particolare, alla viabilità (strade, autostrade, viadotti, cavalcavia stradali, gallerie ferroviarie e stradali), oltre a strutture puntuali come dighe, edifici pubblici e strutture portuali e aeroportuali.

Il patrimonio infrastrutturale italiano richiede interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria che si rendono necessari e non più rinviabili visto che la sua realizzazione risale, per gran parte, alla metà del secolo scorso. Considerata la gravità degli ultimi tragici

eventi che hanno coinvolto importanti opere di sovrattraversamento stradale²²⁰, ciò si rende non solo necessario, ma indispensabile, per garantire un totale livello di sicurezza dei cittadini oltre a garantire la non interruzione dei flussi di traffico ascensionali e discensionali nei collegamenti con l'Europa, da cui dipende gran parte della produzione economica dell'Italia.

È di tutta evidenza che la puntuale conoscenza dell'opera costituisce presupposto indispensabile per la corretta implementazione di qualunque piano di gestione della manutenzione.

Proprio al fine di assicurare la conoscenza del patrimonio infrastrutturale e dello stato di conservazione, il decreto- legge “Genova”²²¹ ha previsto l'istituzione presso il Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili), dell'Archivio Informatico Nazionale delle Opere Pubbliche – AINOP – (fig. 9).

L'AINOP ha la titolarità delle seguenti funzioni:

a) censire in modalità digitale del patrimonio infrastrutturale nazionale, per assicurare una piena e completa cognizione dello stesso;

b) garantire un costante monitoraggio delle opere pubbliche e, in particolare, sul relativo stato e grado di efficienza e, in particolare per gli aspetti afferenti della sicurezza, utilizzando anche le informazioni provenienti dal sistema di monitoraggio dinamico (oggetto di analisi nel paragrafo 3.2.1.), così da pervenire ad una valutazione complessiva sul livello di sicurezza delle opere;

d) facilitare, sulla base dei dati acquisiti, il processo di programmazione e finanziamento degli interventi di riqualificazione o di manutenzione delle opere e l'individuazione della priorità degli stessi.

Le attività di definizione della piattaforma sono state avviate dalla Direzione generale per la digitalizzazione, i sistemi informativi e statistici del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili a partire dall'anno 2018 e proseguite, ai fini dell'implementazione del sistema, nell'anno 2019 attraverso il contratto esecutivo n. RC 190/2018 per la fornitura di servizi necessari alla realizzazione dell'Archivio Informatico Nazionale Opere Pubbliche AINOP, con l'integrazione e la gestione di sistemi di monitoraggio ministeriali.

²²⁰ Crollo del “Ponte Morandi” di Genova e del ponte di Albiano, sul Fiume Magra.

²²¹ Art. 13 del decreto-legge 28 settembre 2018, n. 109 - *Disposizioni urgenti per la città di Genova, la sicurezza della rete nazionale delle infrastrutture e dei trasporti, gli eventi sismici del 2016 e 2017, il lavoro e le altre emergenze* - convertito con modificazioni dalla L. n. 130 del 16 novembre 2018.

Fig. 10 – Archivio Informatico delle Opere Pubbliche (AINOP)

Fascicolo Opera

Codice IOP: **FE AX0530 PO B3JAVG6N**

Soggetto conferente: Rete Ferroviaria Italiana - Società per Azioni
 Data di creazione IOP: 18/09/2019
 Data di aggiornamento IOP: 18/09/2019

immagine non disponibile

METADATI Completamento anagrafiche 46%

Tipo Infrastruttura	Ferrovia alta velocità	Codice/Nome Infrastruttura	TRO530
Tipo Opera	Sottovia	Codice/Nome Opera	TRO530-SD-OA00-PT0-B01
Data di messa in Esercizio	Non disponibile	Ellissoide	WGS84

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

In questo periodo, l'Amministrazione ha organizzato diversi incontri con i soggetti interessati quali ANAS, RFI, ENAC e Direzione Generale Dighe, allo scopo di avviare le fasi di test per l'inserimento dei dati. Nel corso degli incontri tecnici sono state stabilite le modalità per il censimento delle opere pubbliche (c.d. schede anagrafiche). In questa fase è stato effettuato un lavoro di analisi dei tracciati record esistenti nei sistemi informativi dei soggetti detentori dei dati, per ottenere una raccolta di dati da far confluire in AINOP che fosse compatibile con le esigenze e gli obiettivi del progetto, evitando di richiedere tipologie di informazioni che poi potessero rivelarsi di difficile reperimento per gli stessi gestori delle opere.

Questo nella consapevolezza che l'utilizzo dei *big data* prevede a monte, nella fase di costruzione del *data lake*, la necessità di evitare una definizione di campi che possano portare un valore VOID, che si concretizza nell'assenza della relativa informazione. Al riguardo, si rappresenta che l'individuazione puntuale della tipologia dei dati che vengono richiesti è fondamentale per consentire un efficace ed efficiente controllo del complesso

delle opere oggetto di osservazione nel corso del loro ciclo di vita. Il processo di controllo può articolarsi nel monitoraggio dello stato dell'infrastruttura fisica al fine di assicurare la sicurezza dei trasporti e dei cittadini, nella definizione di un piano di azione per individuare le priorità di intervento e, infine, in termini nel miglioramento, nella tempestività e nell'accelerazione dell'esecuzione degli interventi manutentivi garantendo, al contempo, l'efficientamento della spesa pubblica.

Con decreto del Ministro delle infrastrutture n. 430 del 2019 ²²² sono state definite le modalità di condivisione dei dati per l'alimentazione dell'AINOP. Proprio l'esito degli approfondimenti tecnici operati durante le fasi di interlocuzione con i soggetti detentori dei dati ha portato ad inserire nel citato DM 430/2019 la definizione di una precisa progressività temporale e operativa (di riempimento delle diverse sezioni) dei soggetti conferenti, partendo dalle infrastrutture nazionali per arrivare a quelle regionali e locali. Tale architettura porta anche a impostare una analisi dei *big data* che tenga conto dei diversi comparti amministrativi e territoriali: in via esemplificativa relativa ad una infrastruttura stradale, AINOP contiene informazioni appartenenti a strade di interesse nazionale (di competenza quindi di ANAS o dei concessionari autostradali), unitamente a quelle concernenti le strade regionali e locali (strade provinciali, comunali, consortili, ecc.). Inoltre, nell'Allegato A al medesimo DM 430/2019 sono dettagliati gli elementi che costituiscono la struttura e le funzionalità di AINOP. L'Archivio è strutturato in 9 sezioni:

1. Ponti, viadotti e cavalcavia stradali;
2. Ponti, viadotti e cavalcavia ferroviari;
3. Strade;
4. Ferrovie nazionali e regionali – metropolitane;
5. Aeroporti;
6. Dighe e acquedotti;
7. Gallerie ferroviarie e gallerie stradali;
8. Porti e infrastrutture portuali;
9. Edilizia pubblica.

All'interno di ciascuna sezione è contenuta l'opera pubblica identificata dal codice IOP, chiave univoca per qualsiasi ricerca o estrazione di dati.

Infatti, in base ai dati forniti, AINOP genera un codice (Identificativo della Singola Opera- IOP) assimilabile al codice fiscale che, attraverso una sequenza alfanumerica di 18 caratteri, identifica in maniera univoca la singola opera riportandone le caratteristiche essenziali e distintive.

Esempi di IOP sono riportati nella sottostante fig. 11.

²²² Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 8 ottobre 2019, n. 430, entrato in vigore il 21 novembre 2019, attuativo dell'art. 13, comma 5, del citato decreto legge 109/2018 (Decreto Genova).

Fig. 11 – Esempi di IOP

Esempi:

Ferrovia: FE AL0012 PN A584G321
Ferrovia Alta velocità linea L0012 Ponte n.12500

Strada: ST SS0004 PN TY687H52
Strada Statale n. 4 viadotto “Velino” n.119

Porto: PO POGNVE PL RDP163H3
Porto Lacunare Darsena di Genova codice del porto n. 16303

Aeroporto: AE ASLIRF AN WAMC61UI
Aeroporto strategico di Roma Fiumicino codice ICAO LIRF

Diga: ID DGCLMB DG RT793GXQ
Lago di Colombo diga n.41

Fonte: Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 8 ottobre 2019, n. 430

Ciascuna sezione citata in precedenza è suddivisa in ulteriori sottosezioni dove vengono raccolte le informazioni di dettaglio. In particolare, tali informazioni riguardano “*i dati anagrafici a carattere generale, i dati tecnici, i dati economico-finanziari, il monitoraggio tecnico dell’opera, le manutenzioni, i lavori in corso, le immagini e i video dell’opera, i dati relativi al contesto territoriale, la documentazione fotografica, i dati di contesto e le segnalazioni*”. Nella figura sottostante si riporta la rappresentazione della struttura delle anagrafiche e della tipologia di dati raccolti e del livello di dettaglio delle informazioni.

Fig. 12 – Struttura delle anagrafiche



Fonte: ns. elaborazione

In particolare sono state create e rese disponibili le schede per l’inserimento della documentazione riguardante:

a) Anagrafica –

La sottosezione “*Anagrafica*” è dedicata all’inserimento di dati di carattere generale inseriti in campi che sono comuni a tutte le tipologie di opere (Anagrafica di base) e dati

di carattere specifico differenti a seconda dell'opera a cui si fa riferimento (Anagrafica specifica), come evidenziato nella sottostante fig. 12).

Fig. 13 – Tracciato record anagrafica di base

Nome campo	Chiave logica - Obbl/Facoltativo	Tipo dati	Descrizione	Regola di valorizzazione
CODICE OP INFRASTRUTTURA	O	Char (36) Char (15)	Codice identificativo dell'Opera Pubblica Il tipo dell'infrastruttura (es: strada, ferrovia, aeroporto, ecc.)	
NOME INFRASTRUTTURA	O	Char (50)	Il nome dell'infrastruttura (es: tipologia della strada e relativo numero, strada statale 554, nome aeroporto, AEROPORTO CIAMPINO, AEROPORTO FIUMICINO, nome della infrastruttura idrica, ACQUEDOTTO DEL FIORA, ecc.)	
OPERA	O	Char (50)	Tipo dell'opera (es: Viadotto, ponte, galleria, cavalcavia, ecc.)	
NOME OPERA	O	Char (150)	Il nome dell'opera (es: TRAFORO DEL GRAN SASSO, PONTE POLCEVERA, GALLERIA DI NAZZANO, DIGA DI CAMPOTOSTO, ecc.)	
IDENTIFICATIVO PER IL GESTORE/PROPRIETARIO	O	Char (50)	Il codice identificativo NEL SISTEMA del gestore o del proprietario	
SISTEMA DI RIFERIMENTO	O	VarChar (10)	Il Sistema geodetico di riferimento (es: WGS 84, ED50,)	
ELLISSOIDE	O	Char (15)	L'Ellissoide di riferimento	
COORDINATE GEOGRAFICHE (centro)	O	VarChar (24)	Coordinate geografiche in Gradi, Minuti, Secondi, Centesimi (GMS.cc) e quota S.L.M. espressa in Metri del centroide dell'opera (in senso progressivo crescente)	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera puntuale o poligonale
COORDINATE GEOGRAFICHE (iniziale)	O	VarChar (24)	Coordinate geografiche in Gradi, Minuti, Secondi, Centesimi (GMS.cc) e quota S.L.M. espressa in Metri del punto iniziale dell'opera (in senso progressivo crescente)	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera lineare
COORDINATE GEOGRAFICHE (finale)	O	VarChar (24)	Coordinate geografiche in Gradi, Minuti, Secondi, Centesimi (GMS.cc) e quota S.L.M. espressa in Metri del punto finale dell'opera (in senso progressivo crescente)	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera lineare
ENTRATA IN ESERCIZIO	O	Date (aaaa)	L'Anno di entrata in esercizio dell'opera	Se non valorizzato utilizzare il default "1900"
ANNO PRESUNTO	O/F	Date (aaaa)	L'Anno presunto di entrata in esercizio dell'opera da compilare quando non si ha certezza del valore da inserire nel campo "ENTRATA IN ESERCIZIO" (ad esempio nel caso di opera antica)	Il campo deve essere valorizzato solo nel caso in cui il campo "ENTRATA IN ESERCIZIO" riporti il valore "1900"
INIZIO LAVORI	F	Date (aaaa)	L'Anno di inizio lavori della costruzione	
FINE LAVORI	F	Date (aaaa)	L'Anno di fine lavori della costruzione	
COLLAUDO FINALE	F	Date (aaaa)	L'Anno di collaudo finale	
PROGRESSIVA KM INIZIALE	O	Num (15)	La Progressiva chilometrica iniziale	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera lineare
PROGRESSIVA KM FINALE	O	Num (15)	La Progressiva chilometrica finale	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera lineare
ESTESA (KM)	O	Num (10)	L'Estesa espressa in chilometri	Il campo potrà essere compilato solo nel caso si tratti di opera lineare
ENTE CONCEDENTE / PROPRIETARIO	O	Char (150)	L'Amministrazione/Ente Concedente e/o Proprietario	
CONCESSIONARIO	O	Char (150)	L'Amministrazione/Ente Concessionario	
ENTE VIGILANTE	O	Char (150)	L'Amministrazione/Ente Vigilante	
COMUNE	O	Char (60)	Il Territorio di appartenenza - COMUNE	Si possono inserire anche più Comuni
PROVINCIA	O	Char (30)	Il Territorio di appartenenza - PROVINCIA	Si possono inserire anche più Province
REGIONE	O	Char (20)	Il Territorio di appartenenza - REGIONE	Si possono inserire anche più Regioni
INTERVENTI SUCCESSIVI - SCOPO	F	Char (100)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: SCOPO	
INTERVENTI SUCCESSIVI - DESCRIZIONE	F	Char (1000)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: DESCRIZIONE	
INTERVENTI SUCCESSIVI - INIZIO LAVORI	F	Date (aaaa)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: ANNO DI INIZIO LAVORI	
INTERVENTI SUCCESSIVI - FINE LAVORI	F	Date (aaaa)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: ANNO DI FINE LAVORI	
INTERVENTI SUCCESSIVI - COLLAUDO	F	Date (aaaa)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: ANNO DI COLLAUDO FINALE	
INTERVENTI SUCCESSIVI - MESSA IN ESERCIZIO	F	Date (aaaa)	Gli interventi successivi atti a modificare la struttura originaria: ANNO DI MESSA IN ESERCIZIO	
STATO DELL'OPERA	O	Char (1)	Classificazione dello stato dell'opera in 5 categorie: • A: opera pienamente agibile • B: opera agibile ma con scadenze di lavori di manutenzione ordinaria, • C: opera agibile ma con necessità di lavori di manutenzione straordinaria, • D: opera in condizioni critiche e agibile parzialmente - lavori di manutenzione urgenti • E: opera inagibile Solamente per le opere aeroportuali sarà possibile scegliere tra due categorie: • A: opera pienamente agibile • E: opera inagibile	
NOTE	F	Char (5000)	Eventuale segnalazione di fatti rilevanti ad integrazione delle altre informazioni previste	

Fonte: Decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 8 ottobre 2019, n. 430

Fig. 14 – Scheda anagrafica

Scheda Anagrafica
MODIFICA
ELIMINA

Codice IOP: FE CXTR05 PN ISQIRSMT

Tipo infrastruttura: FEEXI Ferroviaria/Complementare

Nome infrastruttura: TR0548 - Ponte ferroviario di test copia dell'IOP reale FEEX0548PNTMLEKIS0

Tipo opera: IPN Ponte

Nome opera: Ponte km 10+000




ANAGRAFICA BASE ↻
ANAGRAFICA SPECIFICA ↻

Infrastruttura			
Tipo infrastruttura	FEEXI Ferroviaria/Complementare	Codice infrastruttura	TR0548
Nome infrastruttura	TR0548 - Ponte ferroviario di test copia dell'IOP reale FEEX0548PNTMLEKIS0		
Opera			
Tipo opera	IPN Ponte	Codice CUP	J31H03000530001
Codice opera	TR0548-S0-QA00-PT0-P02	Nome opera	Ponte km 10+000
Posizione geografica			
Coordinate geografiche punto iniziale	Latitudine: 39.274223	Longitudine: 9.03261	Altitudine: N D
Coordinate geografiche punto finale	Latitudine: 39.274144	Longitudine: 9.0326	Altitudine: 0
Sistema di Riferimento	EPSG:4326	Ellissoide	WGS84
Realizzazione			
Anno inizio lavori	Non disponibile <input type="text"/>	Anno fine lavori	Non disponibile <input type="text"/>
Anno collaudo lavori	Non disponibile <input type="text"/>	Anno di messa in esercizio	1983
Amministrazione			
Ente concedente	RFI	Concessionario	RFI
Ente vigilante	Ministero Infrastrutture e Trasporti		
Territorio di appartenenza			
Comuni	Elmas		
Province	Cagliari	Regioni	Sardegna
Interventi successivi atti a modificare la struttura originaria			
Nessuno			
Stato dell'opera*			
Per dettagli vedere sotto fascicolo Manutenzioni, se abilitati			
Note			
Nessuna nota			

Fonte: www.ainop.it

b) Dati tecnici –

La sottosezione “*Dati Tecnici*” è dedicata all’inserimento di:

- Documentazione di gara;
- Progetto dell’opera (preliminare, definitivo ed esecutivo);
- Varianti dell’opera;
- Elaborati *as-built*;
- Note.

Nella figura successiva si riporta l’immagine della sottosezione dedicata a contenere dati (strutturati e non) relativi a: gara che ha generato l’opera (se presente); elaborati *As-Built* che certificano lo stato in essere dell’opera; lista (con dettaglio) delle gare che hanno interessato, a vario titolo, l’opera stessa.

Fig. 15 – Scheda dati tecnici

FASCICOLO ANAGRAFICA DATI TECNICI DATI ECONOMICO-FINANZIARI MONITORAGGI TECNICI MANUTENZIONI LAVORI IN CORSO IMMAGINI & VIDEO ANALISI DI CONTESTO SEGNALAZIONI

Dati tecnici GESTISCI

Codice IOP: **ST SSAINO PN EEHSQ1QW**

Tipo infrastruttura: Strada statale
 Nome infrastruttura: Nuovo ponte dei Medici sul Tevere
 Tipo opera: Ponte
 Nome opera: Ponte Parco Dei Medici

 immagine non disponibile 

GARA ORIGINARIA ELABORATI AS-BUILT LISTA GARE

Documentazione

Codice CIG	CIG001	Codice CUP	CUP001
Progettista	Da Vinci Leonardo	Protocollo bando gara *	123456
Elenco avvisi	Roma	Ribasso contrattuale	10
Repertorio contratto *	5689	Importo contratto *	10000000
Tempo utile contrattuale	24	Ente approvatore *	Comune Roma
Rilevatore	Non disponibile	Importo finanziamento *	8000000
Data inizio *	09/10/2015	Data fine *	27/01/2017
Data approvazione *	16/12/2014	Data bando *	14/02/2013
Data gara *	31/08/2013	Data contratto	Non disponibile
Tipo progetto *	Esecutivo	Tipo causa assenza CIG e CUP	Non disponibile
Tipo finanziamento *	Finanziamenti europei pon/por	Tipo causa sospensione	Non disponibile
Avviso bando *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf	Capitolato gara *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf
Contratto aggiudicazione *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf	Relazione tecnica	Non disponibile
Provvedimento approvazione	Non disponibile	Documento aggiudicazione *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf
Profilo aggiudicatario *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf	Documentazione generale progetto	Non disponibile

* campo obbligatorio.

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

Fig. 16 – Scheda di dettaglio della Gara/Progetto/Variante

Dettaglio Gara/Progetto/Variante

Codice IOP: **FE CXTR05 PN ISQIRSMT**

Tipo infrastruttura: (F ECK) Ferrovia/Complementare
 Nome infrastruttura: TR054B - Ponte ferroviario di test copia dell'IOP reale fecx054Bpntmlk90
 Tipo opera: (PN) Ponte
 Nome opera: Ponte km 10+000

Opere		
Codice IOP	Descrizione	Gara originaria
FE CXTR05PNISQIRSMT	Ferrovia complementare - tr054B - ponte ferroviario di test copia dell'iop reale fecx054Bpntmlk90 - ponte - ponte km 10+000	<input type="checkbox"/>
Tipologia * Progetto decreto legge 76-2020		

Intervento			
Descrizione *	Codice CIG	Num./Rif. bando gara	Non disponibile
progetto barriere	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile
Codice CUP	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile

* campo obbligatorio.

SEZIONE 1: PROGETTI SEZIONE 2: CONFORMITÀ SEZIONE 3: DICHIARAZIONE SEZIONE 4: RICEVUTA

Titolo documento	Descrizione documento	Documento
Nessun dato disponibile		

CHIUDI MODULO

Fonte: www.ainop.it

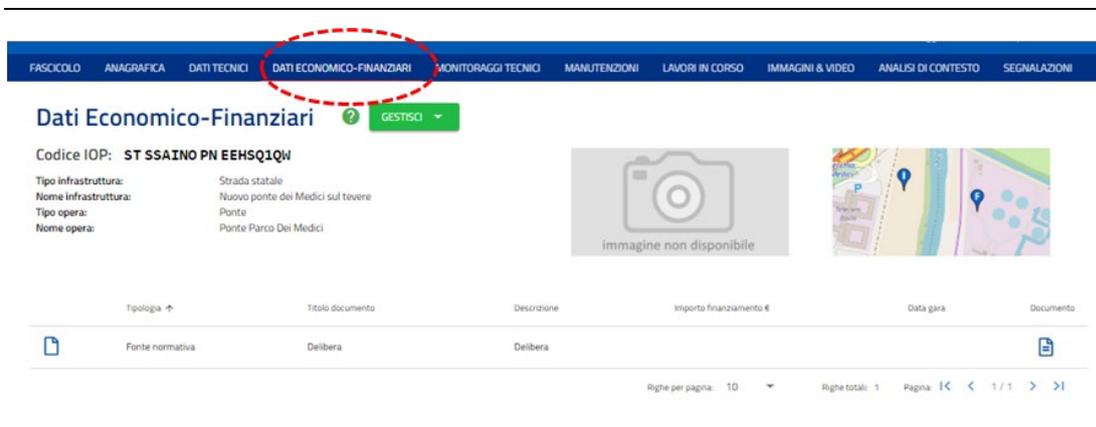
In particolare per quanto riguarda i documenti di progetto, sono state attualmente consolidate le procedure di deposito, secondo quanto previsto all'art. 10 comma 7-bis del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76 per un totale di 170 interventi.

c) Dati economico-finanziari –

La sottosezione “*Dati economico-finanziari*” contiene le informazioni relative al costo dell’opera, ai finanziamenti richiesti e ricevuti.

Nella figura successiva si riporta l’immagine della sottosezione dedicata a contenere dati (strutturati e non) relativi a: documenti di varia tipologia relativi agli aspetti economico finanziari dell’opera; collegamento al MEF (BDAP) per l’accesso ai dati; collegamento ad altre banche dati (Presidenza del Consiglio dei Ministri, Agenzia del Demanio, ecc..).

Fig. 17 – Dati economico-finanziari



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

d) Monitoraggio tecnico –

La sottosezione “*Monitoraggio tecnico*” è dedicata all’inserimento delle informazioni e documentazione derivanti da:

- Dati forniti dai sensori;
- Dati forniti dai droni;
- Dati forniti da altri strumenti di monitoraggio digitale e da sistemi di Structural Health Monitoring (SHM);
- Note.

Nella figura successiva si riporta l’immagine della sottosezione dedicata a contenere dati (strutturati e non) relativi a: progetti di monitoraggio attivati sull’opera; risultanze dello specifico progetto di monitoraggio con evidenza dello stato risultante dell’opera nell’intervallo di tempo di osservazione.

Fig. 18 – Dati monitoraggio tecnico

Dettaglio Progetto Monitoraggio

Codice IOP: **ST SSAINO PN EEHSQ1QW**

Tipo Infrastruttura: Strada statale
 Nome infrastruttura: Nuovo ponte dei Medici sul tovere
 Tipo opera: Ponte
 Nome opera: Ponte Parco Dei Medici

Immagini non disponibili

Opera

Codice IOP * STSSAINOPN EEHSQ1QW

Gare

Descrizione gara 16 - 09/10/2020

Progetto Monitoraggio

Nome progetto *	Monitoraggio tramite droni del ponte		
Data inizio *	09/10/2020	Data fine *	09/10/2020
Metodologia monitoraggio *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf	Tipologia strumentazione *	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf
Relazione installazione	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf	Progetto installazione	DOCUMENTO DI PROVA PER OPERA DI TEST.pdf
Altra documentazione	Non disponibile	Tipologia rilevamento *	Droni

* campo obbligatorio.

MONITORAGGIO TECNICO

	Data inizio	Data fine	Denominazione ente	Codice fiscale ente	Ingresso sito opera	Scheda
	01/10/2020	12/10/2020	Montena spa	12345678901	Sporadico	

1/1 di 1

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

- e) **Manutenzioni** - La sottosezione “*Manutenzioni*” è dedicata all’inserimento di:
- Ispezioni;
 - Interventi di manutenzione (ordinaria e programmata, straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia, ecc);
 - Note.

Alla luce degli improcrastinabili interventi di manutenzione di cui necessita il patrimonio infrastrutturale italiano e dell’importanza che rivestono le attività di ispezione per la costante verifica dello stato delle opere, la scheda in esame, diretta a raccogliere tali informazioni, acquisisce ancora più rilevanza. Nel dettaglio, allo stato attuale, risultano inseriti complessivamente i documenti riguardanti 172.000 ispezioni.

Nella figura successiva si riporta l’immagine della sottosezione dedicata a contenere dati (strutturati e non) concernenti: documenti ed evidenze relative alle ispezioni e agli interventi di manutenzione effettuati o in corso; esiti delle ispezioni effettuate con schede di ispezione; manuali delle ispezioni e metodologie; schede di ispezioni secondo le linee guida impartite dal Consiglio Superiore dei lavori pubblici.

Fig. 19 – Scheda manutenzioni con dettaglio ispezioni

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

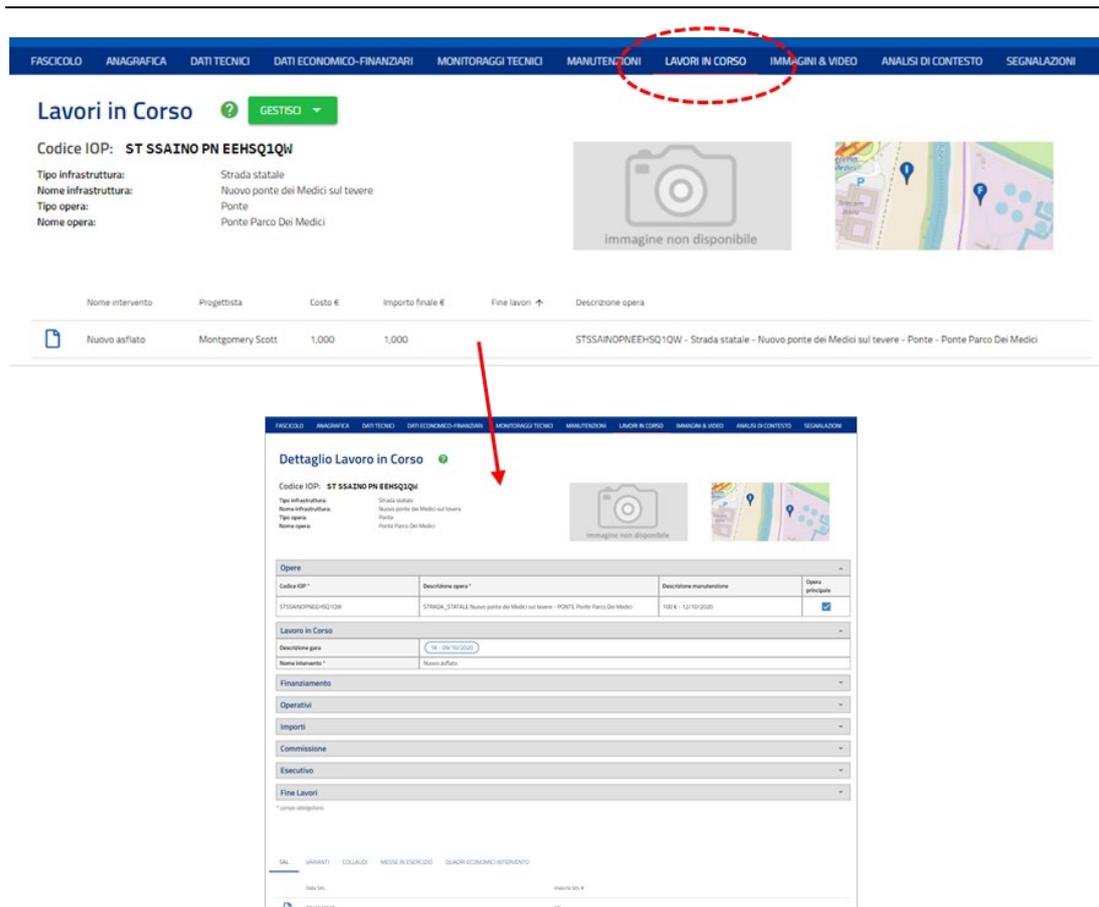
f) Lavori in corso –

La sottosezione “Lavori in corso” è dedicata all’inserimento di:

- Figure interessate;
- Dati impresa;
- Atti contabili;
- Collaudi.

Nella figura successiva si riporta l’immagine della sottosezione dedicata a contenere dati (strutturati e non) relativi ai lavori effettuati o in corso di esecuzione sull’opera, con la specificazione dei seguenti dettagli: tipologia; figure interessate nell’esecuzione dei lavori; importo; SAL; varianti; collaudi; messa in esercizio. Tali dati possono essere riferiti alla singola opera o a gruppi di opere. Inoltre è possibile inserire all’interno anche i documenti relativi ai lavori effettuati.

Fig. 20 – Lavori in corso



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

g) Immagini & video.

La sottosezione “*Immagini & Video*” è dedicata all’inserimento di:

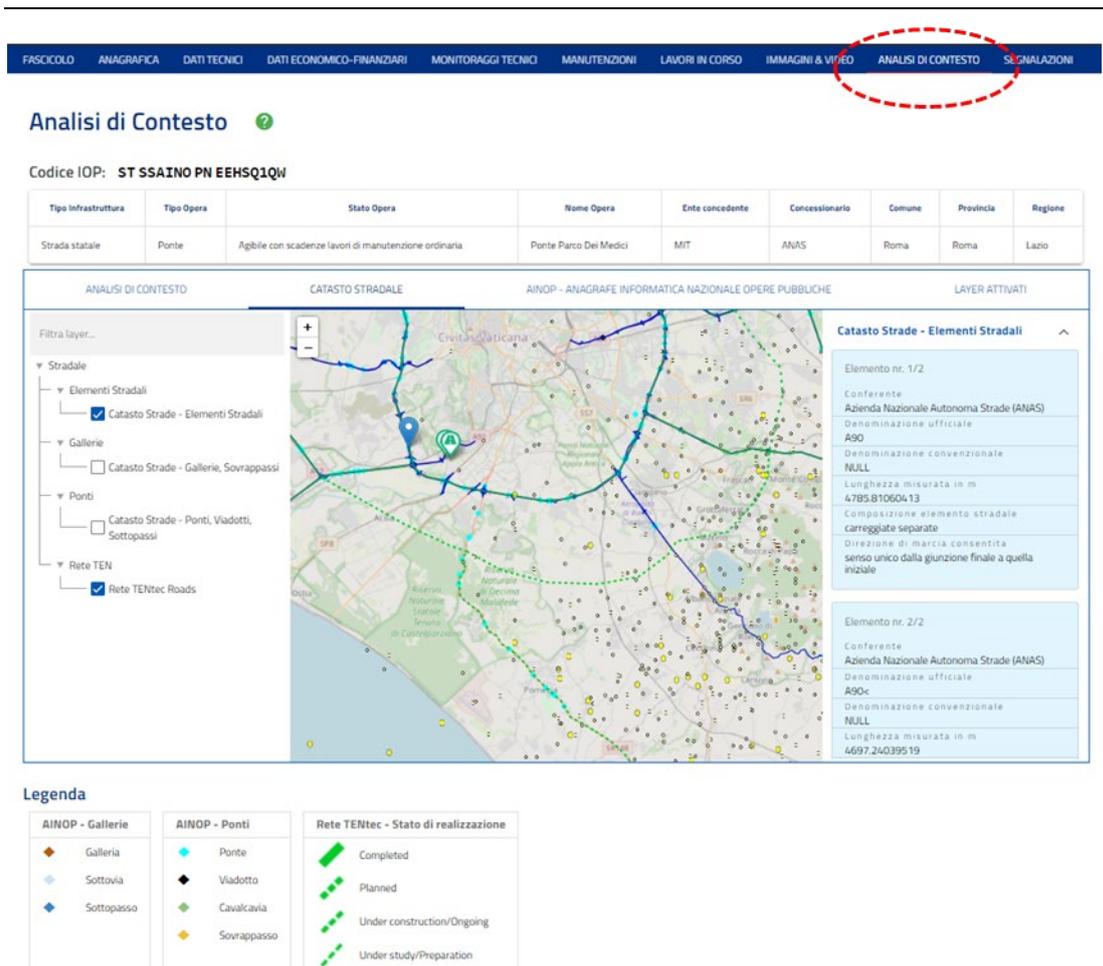
- Immagini del sito *ante operam*;
- Immagini di cantiere;
- Immagini dell’opera realizzata;
- Immagini interventi successivi;
- Video;
- Note.

h) Analisi di contesto –

La sottosezione “*Analisi di contesto*” consente, attraverso la consultazione di un sistema informativo geografico, di visualizzare sulla mappa geografica i dati riguardanti le opere pubbliche, di effettuare l’analisi integrata di dati relativi all’opera e al contesto territoriale di riferimento, con particolare riguardo a elementi afferenti i fattori di rischio e i dati ambientali, di evidenziare aspetti di interesse nella correlazione con ulteriori elementi di

analisi. Nella figura successiva si riporta l'immagine della sottosezione dedicata a contenere i dati (strutturati e non) relativi alle seguenti specifiche: rappresentazione geolocalizzata dell'opera; contestuale composizione di *layer* informativi multipli (ad esempio catasto stradale, altre opere AINOP; informazioni ambientali - terremoti, frane - informazioni amministrative; catasto fabbricati con particelle); individuazione tramite click degli elementi mostrati e presentazioni dei metadati riferiti all'elemento individuato; meccanismo di alimentazione e aggiornamento automatico e continuo dei dati.

Fig. 21 – Analisi di contesto

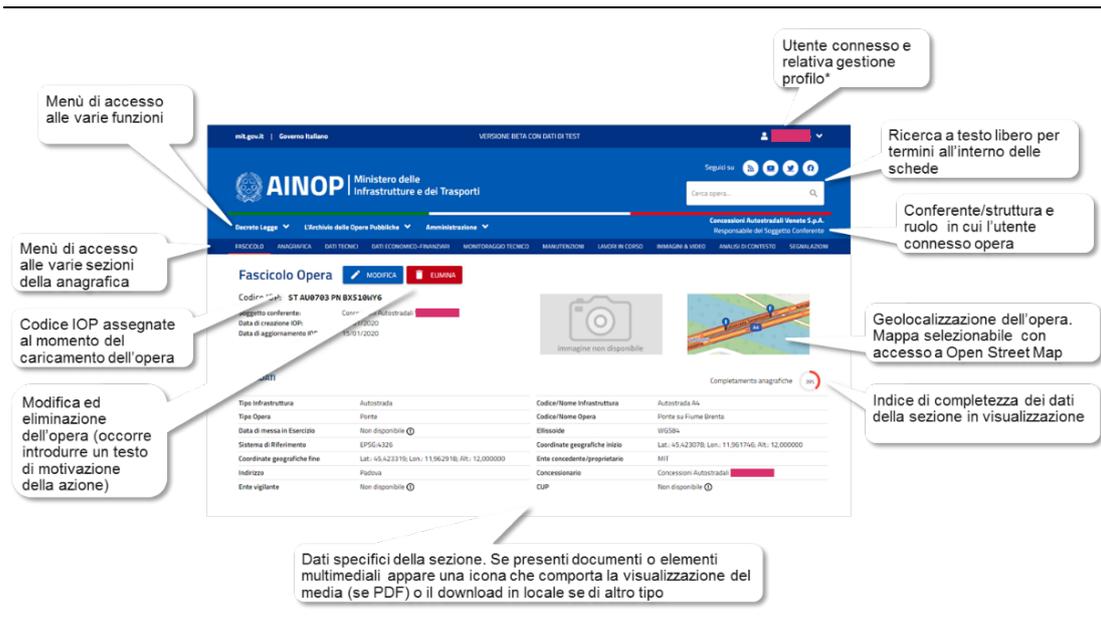


Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

i) Segnalazioni –

Questa sottosezione fornisce un modulo strutturato per consentire agli utenti di poter effettuare eventuali segnalazioni tramite il sistema AINOP. Per tale attività è richiesta l'autenticazione tramite il Sistema Pubblico di Identità Digitale (SPID) per accedere al modulo delle segnalazioni.

Fig. 22 – Struttura della *User interface*



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

Nell'anno 2020 le attività sono proseguite ed in particolare, sono state ulteriormente declinate le informazioni raccolte nelle sezioni relative all'anagrafica di base e all'anagrafica specifica per ciascuna opera; sono state, inoltre, ridefinite le sezioni relative al caricamento dei dati riguardanti la sezione "manutenzioni – ispezioni", supportando altresì il caricamento delle varianti e degli elaborati "as-built".

Nello specifico le principali attività hanno consentito di:

- allineare l'ambiente sia per l'ingestione dei dati massivi tramite file .CSV che per l'inserimento e la modifica dei dati tramite *web services*;
- arricchire le funzionalità strumentali agli inserimenti manuali in funzione delle esigenze dei conferenti meno strutturati;
- consolidare la configurazione dei sotto-fascicoli tematici per la gestione delle relative schede.

Tutte le configurazioni sono state rilasciate, nel corso dell'anno 2020, in ambiente di pre-esercizio disponibile agli utenti interessati ed accreditati.

Sulla base delle indicazioni del citato DM 430/2019, nel corso del 2020 sono inoltre state avviate le attività per la profilazione degli accessi e delle visibilità.

In particolare, nella successiva tab. 11 si riportano la possibilità di accesso per la differente categoria di utenti.

Tab 11 – Profilazione utenti e accesso

Categoria	Possibilità di accesso
U1-Pubblico (FOIA)	Open Data- accessibilità a dati limitati
	Invio Segnalazioni
U2 - Soggetti Conferenti - Responsabili	Possono consultare i dati/documenti di propria competenza
U3 - Soggetti Conferenti - Operatori	Possono inserire i dati/documenti e consultare le informazioni di propria competenza
U4 - Soggetti Ispettivi	Possono consultare i dati/documenti relativi ad una determinata opera (qualora autorizzati)
U5 - Soggetti Vigilanti	Possono accedere a tutte le sottosezioni relative ad una o più tipologie di infrastruttura per il monitoraggio dello stato di attuazione degli interventi
U6 - Soggetti AINOP	Possono accedere a tutte le informazioni contenute nell'archivio
U7 - Soggetti Amministratori	Amministratori del sistema AINOP

Previa autenticazione SPID

Fonte: Allegato A del decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti del 8 ottobre 2019, n. 430

Per quanto riguarda le modalità di autenticazione per l'accesso ad AINOP, è stata prevista una netta differenziazione fra quella adottata per i soggetti "qualificati ad operare" (ovvero dipendenti della amministrazione) e quella adottate per gli utenti cittadini.

In particolare, per gli utenti ad accesso riservato è prevista l'autenticazione tramite Userid + Password oppure, a tendere come metodica standard, tramite SPID per Persona Giuridica che attesta l'appartenenza di un certo soggetto fisico ad una specifica entità giuridica qualificata ad operare sulle anagrafiche.

Per quanto riguarda i cittadini è prevista l'Autenticazione tramite SPID personale. La negoziazione avviene con l'*identity provider* esterno «SPID compliant» tramite una infrastruttura di SPID *gateway* collocato presso il Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili nell'ambito della infrastruttura AINOP.

Fig. 23 – Schermata di accesso AINOP



Fonte: www.ainop.it

Per quanto attiene alla visibilità del dato si applica il principio della autorizzazione esplicita ovvero si vede e si gestisce solo ciò per cui si è esplicitamente autorizzati.

Un'opera, ai fini della sua visibilità e gestibilità, viene identificata per mezzo delle seguenti caratteristiche: ente conferente; tipologia infrastruttura; tipologia opera.

Pertanto, sarà possibile gestire la visibilità e la capacità di operare grazie alla combinazione di queste tre caratteristiche²²³.

È stato inoltre configurato l'ambiente di *reporting* che consente, allo stato attuale, di interrogare i dati presenti sul sistema attraverso report già strutturati secondo 26 tipologie.

Nel corso dell'anno 2021 sono stati realizzati ulteriori sviluppi finalizzati a:

- agevolare la fase di censimento da parte dei conferenti, tramite l'inserimento massivo di dati disponibili attraverso altri sistemi;
- integrare le funzionalità riguardanti il caricamento dei progetti, già previsto nella prima configurazione, sulla base delle indicazioni del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76.

Nella sottostante fig. 23 si riporta l'immagine della libreria di report (espandibile e soggetta comunque a profilazione) che consente di elaborare dati e fornire rappresentazioni grafiche con esportazioni nei formati PDF, CSV e XLS.

In tale contesto, fondamentale importanza riveste da un lato la corretta e costante alimentazione dei dati, dall'altro lato, la capacità di interpolazione di AINOP con altri sistemi e banche dati presenti.

²²³ Nella definizione delle autorizzazioni per uno specifico profilo, quindi, si opera come segue:

- Ente conferente:

Se utenti U2 (Conferente Responsabile) ed U3 (Conferente Operatore) l'ente è vincolato a quello in accreditamento.

Se utenti U4, U5 si indica uno più enti conferenti autorizzati

- Tipologia infrastruttura

Se utenti U2 non vi è possibilità di limitare su questo elemento.

Se utenti U3, U4, U5 si indica uno più valori fra quelli previsti.

- Tipologia opera

Se utenti U2 non vi è possibilità di limitare su questo elemento.

Se utenti U3, U4, U5 si indica uno più valori fra quelli previsti.

Gli utenti U6 non hanno alcuna limitazione di visibilità.

Gli utenti U7 non hanno alcuna limitazione di visibilità e sono gli unici a poter visualizzare lo storico delle modifiche.

Fig. 24 – Libreria di report

The image shows a web interface for report management. On the left, there is a table titled 'Elenco reports disponibili' with columns for 'Nome Report', 'Descrizione', 'Tipo Report', and 'Area Utente'. A red arrow points from the 'Report - BETA - Distribuzione Opere per Manutenzioni' entry in the list to a preview window on the right. The preview window shows the report's parameters and a table titled 'Status Ispezioni Opere'.

idP	idStruttura/Provincia	Descr	invalore	invalore	ST. ANNO				
00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

Quanto all'interoperabilità con altri sistemi, nel corso del 2021 sono state completate le analisi riguardanti l'acquisizione dei dati disponibili attraverso i sistemi OpenBDAP e OpenCUP, finalizzate ad inserire in AINOP, in modalità automatizzata, i dati disponibili sulle gare e sui progetti²²⁴. In particolare, è prevista la configurazione di appositi *web services* per l'interrogazione dei codici unici di progetto degli investimenti pubblici

²²⁴ In merito al deposito dei progetti, è stata rilasciata una prima versione delle funzionalità per gestire quanto previsto dalla legislazione vigente (decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76 "Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale", convertito con modificazioni dalla legge 11 settembre 2020, n. 120, che con l'art. 10 comma 7-bis, modifica l'articolo 5 del decreto-legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186 recante "Disposizioni urgenti per garantire la funzionalità di taluni settori della pubblica amministrazione. Disposizioni di delega legislativa e di proroga di termini".

Pertanto, sulla base delle indicazioni fornite, le funzionalità rilasciate nel primo semestre 2021 consentono all'operatore conferente la creazione di un "Progetto" e l'inserimento della relativa documentazione, articolata in tre sezioni, organizzate secondo la seguente modalità:

- Sezione 1 - documentazione riguardante gli elaborati di progetto;
- Sezione 2 - documentazione riguardante la conformità del progetto strutturale;
- Sezione 3 – documentazione riguardante la dichiarazione di avvenuto deposito, secondo un modulo generato automaticamente dal sistema.

L'ulteriore sezione 4 è dedicata alla gestione della ricevuta, secondo un primo flusso articolato come segue:

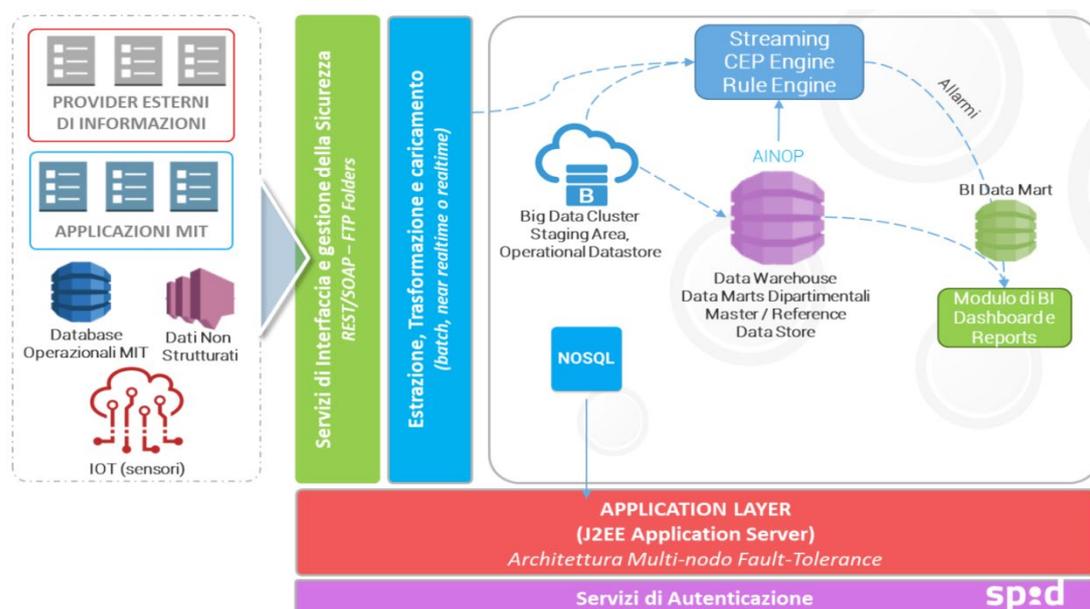
- a seguito della richiesta, attivata dall'utente, di generazione della ricevuta, il documento viene trasmesso automaticamente dal sistema ad una casella dell'amministrazione dedicata alla sua ricezione;
- il documento viene verificato dal supporto applicativo dedicato alle attività di deposito e, in assenza di anomalie di carattere tecnico-informatico, viene attivato il flusso procedurale finalizzato alla protocollazione ed all'invio tramite PEC al conferente e alle strutture interessate nelle attività di vigilanza;
- in presenza di anomalie tecniche riscontrate nella compilazione dei campi del documento attestante il deposito o nel caricamento dei documenti, viene contattato il conferente per procedere con gli allineamenti necessari.

In merito alle attività di deposito dei progetti, nel corso del 2021 sono stati completati e rilasciati in ambiente di test gli sviluppi necessari ad implementare controlli automatizzati nelle diverse fasi di deposito della documentazione nelle sezioni 1 e 2, nella gestione del modulo di dichiarazione della sezione 3 e nel riconoscimento dei soggetti autorizzati alle diverse fasi di caricamento con ruoli diversi appositamente configurati. Inoltre, sulla base delle esigenze emerse in fase di deposito di progetti da parte dei diversi conferenti, è stato avviato lo sviluppo finalizzato a configurare, nell'ambito della scheda "lavori in corso" già disponibile sul sistema, le sezioni dedicate al caricamento della dichiarazione di avvio lavori e dei progetti di dettaglio o di varianti in corso d'opera, prevedendo l'attivazione della funzionalità per la generazione di ricevute dedicate a detti caricamenti.

(CUP)²²⁵. Le analisi hanno riguardato anche gli sviluppi da effettuare sull'ambiente di reportistica finalizzato ad integrare il processo di “data quality”, già implementato per la gestione dei controlli sui dati inseriti a sistema.

Inoltre, l'AINOP, attraverso interconnessione tra Codice IOP e CUP, assicura l'interoperabilità con la BDAP, istituita presso la Ragioneria Generale dello Stato - Ministero dell'economia e delle finanze.

Fig. 25 – Collegamento banche dati – Alimentazione AINOP



Fonte: ns. elaborazione

In relazione ad ulteriori esigenze emerse in fase di inserimento di diverse tipologie di opere da parte di conferenti strutturati secondo specifiche organizzazioni, nel corso del 2021, sono stati altresì avviati gli sviluppi evolutivi finalizzati a:

- gestire una sottostruttura organizzativa nell'ambito della struttura principale dei conferenti AINOP. Tale sviluppo ha lo scopo di configurare l'ambito operativo e la visibilità degli utenti nella sottostruttura di appartenenza e di gestire il principio di gerarchia, consentendo alla struttura di livello superiore di visualizzare tutte le opere caricate dalle sottostrutture;
- gestire le opere in modalità condivisa da parte di più conferenti che, su diversi aspetti, possono avere specifiche competenze sulla medesima opera;
- gestire opere composite, strutturate secondo l'aggregazione di più opere, configurando l'organizzazione gerarchica in grado di associare opere di secondo livello ad un'opera principale;

²²⁵ Previsti dall'articolo 11 della legge 16 gennaio 2003, n. 3.

- adeguare la gestione dello storico, consentendo di individuare i soggetti che, operando secondo le nuove implementazioni sull'organizzazione delle opere e delle strutture conferenti, effettuano gli aggiornamenti su ogni sotto fascicolo.

Nell'ambito delle nuove configurazioni, sono proseguite le attività finalizzate all'implementazione delle funzionalità per consentire l'invio di segnalazioni da parte del cittadino, con la definizione dell'interfaccia web e dei processi per la gestione delle segnalazioni stesse.

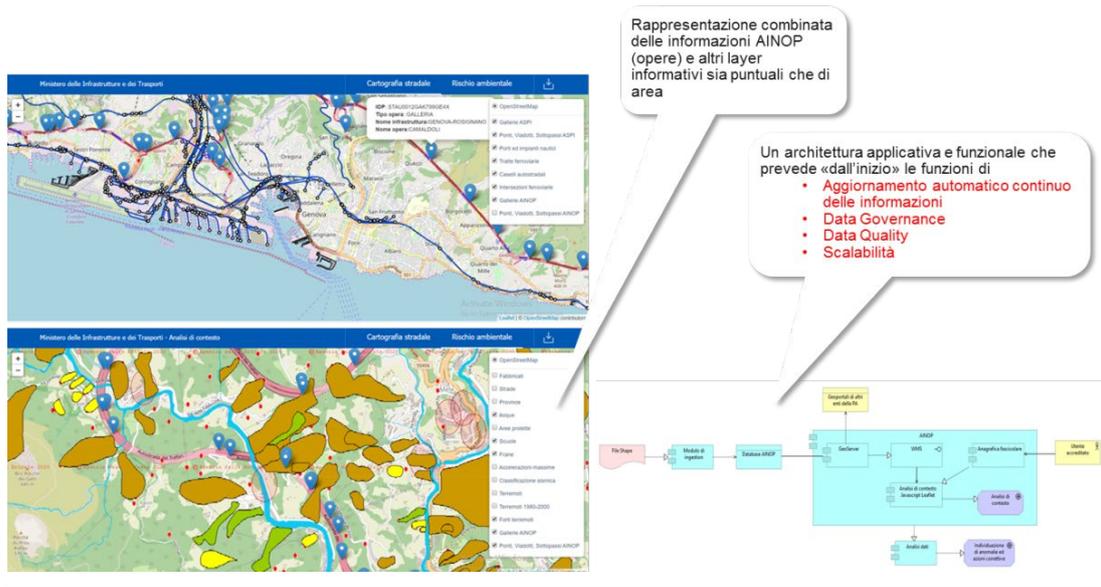
Sono, inoltre, state completate le analisi riguardanti la pubblicazione sul sito degli *Open Data* dell'Amministrazione dei dati derivanti dal sistema AINOP, con la definizione dell'architettura della soluzione e con la progettazione dei flussi di estrazione. In particolare, nel terzo trimestre 2021 è stata completata e rilasciata in ambiente di test la funzionalità per la gestione dei dati da pubblicare in modalità open.

Il proseguimento delle attività finalizzate alla pubblicazione ha riguardato, segnatamente, la configurazione di appositi *report* di "*data quality*", per la gestione di dati da verificare ed eventualmente correggere o aggiornare. I report consentono di effettuare controlli su diversi livelli di informazione, per individuare anomalie riguardanti il completamento delle anagrafiche: opere censite senza coordinate o con coordinate parziali o incoerenti, mancanza di indicazioni su comune, provincia o regione di riferimento, codici IOP con codifiche anomale, punti di discontinuità nei grafi stradali.

Sulla base delle evidenze emerse dalle analisi dei report di *data quality* e al fine di attuare i necessari allineamenti o le opportune integrazioni, sono state avviate apposite interlocuzioni tecniche con i conferenti delle principali infrastrutture stradali, coinvolgendo altresì le strutture vigilanti. Al riguardo, si rappresenta che le risultanze delle analisi di *data quality* consentono di indirizzare opportunamente il supporto applicativo verso i conferenti, al fine di risolvere le anomalie riscontrate.

Con riferimento poi agli ulteriori sviluppi da realizzare sul sistema, sono stati condotti approfondimenti tecnici con l'associazione ASSOBIM riguardanti la gestione dei progetti secondo il modello BIM (*Building Information Modeling*).

Fig. 26 – User Interface geografica



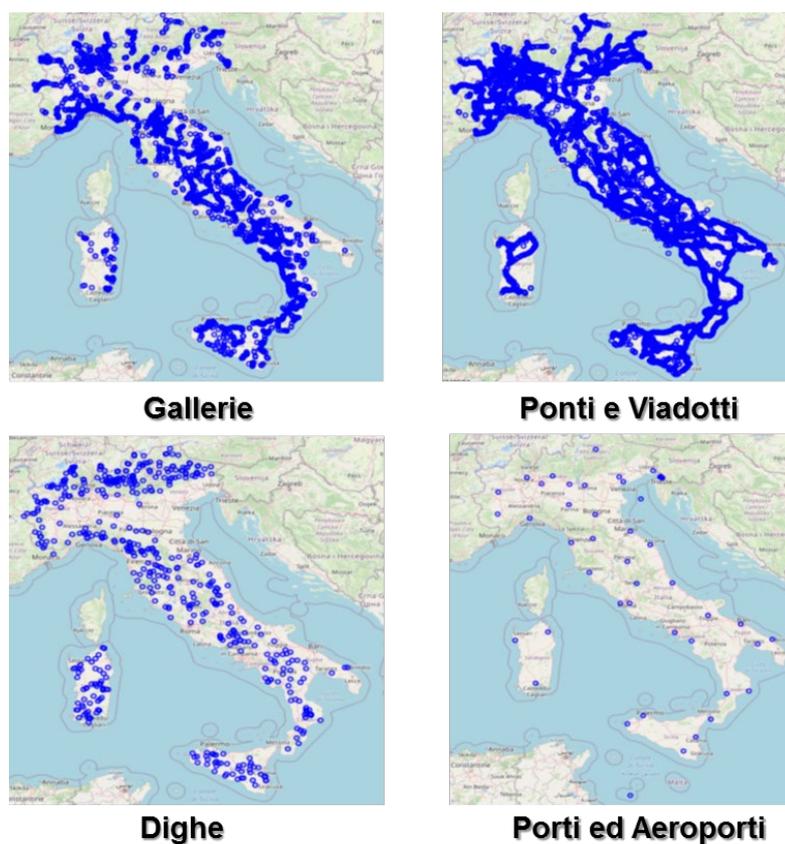
Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

Al fine di fornire le principali informazioni in merito all'attuale stato dei dati conferiti sul sistema, si illustrano le seguenti evidenze.

Le informazioni disponibili per ciascuna opera censita sono organizzate attraverso le schede di anagrafica. Attualmente risultano censite oltre 58.000 opere, tra le quali si evidenziano, in particolare:

- 40 aeroporti;
- 550 Dighe e risorse idriche;
- 320 edifici pubblici, dei quali 170 edifici scolastici;
- 4.000 gallerie stradali;
- 2.240 gallerie ferroviarie;
- 26.300 ponti, viadotti e cavalcavia stradali;
- 18.730 ponti, viadotti e cavalcavia ferroviari;
- 25 opere riguardanti infrastrutture portuali.

Fig. 27 – Localizzazione delle opere inserite



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da www.ainop.it

3.2.1. Sistema di monitoraggio dinamico

Il controllo ed il monitoraggio dello stato delle infrastrutture e delle strutture assicura la maggiore efficacia degli interventi di manutenzione, sia in funzione preventiva che in funzione correttiva rispetto a eventi calamitosi. Un sistema di controllo e monitoraggio adeguatamente strutturato assicura, altresì, una gestione appropriata degli interventi caso di calamità.

Una delle principali cause ostative alla pianificazione dei lavori di manutenzione necessari a garantire elevati standard di sicurezza nei collegamenti tra le aree del Paese, è rinvenibile nella mancanza di informazioni, dati e conoscenze sullo stato di manutenzione di ponti, viadotti, cavalcavia e gallerie della rete stradale.

Tenendo conto di tale situazione, il decreto-legge “Genova” prevede che “*al fine di assicurare l’omogeneità della classificazione e gestione del rischio, della valutazione della sicurezza e del monitoraggio dei ponti, viadotti, rilevati, cavalcavia e opere similari, esistenti lungo strade statali o autostrade gestite da Anas S.p.A. o da concessionari autostradali, con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti sono adottate apposite linee guida*”. Inoltre, con il medesimo decreto sono individuate le modalità di

realizzazione e gestione in via sperimentale e per un periodo non inferiore a dodici mesi, da parte del Consiglio superiore dei lavori pubblici, in collaborazione con gli enti del sistema nazionale di protezione civile, di “*un sistema di monitoraggio dinamico per la sicurezza delle infrastrutture stradali e autostradali in condizioni di criticità*”.

Il Governo, per consentire l’implementazione del sistema di monitoraggio dinamico, ha ritenuto necessario procedere ad un finanziamento²²⁶ che copra parte delle spese relative all’acquisto e all’installazione di dispositivi di monitoraggio dello stato dei ponti e viadotti che ricadono in fase di “valutazione accurata”, nonché delle spese relative all’aggiornamento del sistema di raccolta, analisi e controllo dei dati acquisiti.

A tal fine, attraverso l’utilizzo di strumenti per monitorare lo stato di sicurezza delle infrastrutture e anche utilizzando il *Building Information Modeling* – BIM, i gestori trasmettono al Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili i dati occorrenti per l’avvio e il successivo sviluppo del sistema di monitoraggio dinamico in cui, come sopra detto, le opere sono identificate attraverso il Codice identificativo della singola opera pubblica (IOP).

I programmi, nel perseguire il miglioramento della sicurezza delle strutture dei ponti, viadotti e gallerie, prevedono l’attuazione di un sistema integrato di censimento, classificazione e gestione dei rischi per 12.000 opere d’arte della rete nazionale SNIT di cui 6.500 saranno strumentate mediante:

- la predisposizione e l’attuazione di un sistema di monitoraggio dinamico con controllo a distanza necessario per migliorare la pianificazione degli interventi di manutenzione e per identificare i punti più vulnerabili, considerando i rischi sismici e di smottamento oltre che la vita utile;
- la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali in modo strutturale e attraverso un processo iterativo (analisi della rete, sopralluoghi, gestione del sistema digitalizzato, classificazione delle priorità, attuazione degli interventi), in grado di garantire una conoscenza più approfondita dello stato della rete e il miglioramento della sua sicurezza.

Per 200 opere d’arte comprese nelle opere oggetto di controllo è prevista l’adozione del modello BIM (*Building Information Modeling*).

Il progetto assicurerà la selezione delle strutture che presentano situazioni maggiormente critiche e per le quali applicare il monitoraggio tecnologico nonché progettare le opere di riparazione, di messa in sicurezza o di sostituzione. In tale contesto, verranno inoltre

²²⁶ Per il sistema di monitoraggio dinamico e il controllo da remoto di ponti, viadotti e tunnel delle strade statali e delle autostrade, finalizzato ad incrementarne la sicurezza, il Piano Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (Pnrr) ha previsto risorse per 450 milioni di euro del. Tali risorse sono state assegnate all’Anas e ai concessionari autostradali con il decreto n. 522 del 31 dicembre 2021 a firma del Ministro delle infrastrutture e della mobilità sostenibili.

implementati diversi progetti pilota, caratterizzati dall'utilizzo di tecniche e materiali di intervento innovativi.

Nell'ambito del sistema di monitoraggio dinamico, potranno essere utilizzati i sistemi IoT²²⁷ per svolgere sia attività di *Structural Health Monitoring* (SHM) volte ad acquisire e trasmettere informazioni relative allo stato dell'infrastruttura viaria con le sue opere d'arte maggiori, sia attività di monitoraggio delle condizioni di esercizio riguardanti il traffico ed il trasporto delle merci, oltre che delle condizioni ambientali.

Le attività relative al censimento, l'acquisizione dei dati e la loro elaborazione confluiranno nell'archivio informatico nazionale delle opere pubbliche (AINOP).

Gli elementi conoscitivi in capo all'AINOP e quelli che sono utilizzati per la redazione dalle Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti, se congruenti e inseriti in un'azione sistemica, si rilevano essenziali per migliorare il grado di sicurezza delle infrastrutture stradali e autostradali.

3.2.2. *Linee guida per rischio, sicurezza e monitoraggio dei ponti esistenti*

Le “*linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti*”²²⁸ soddisfano la necessità di ricevere dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, indicazioni tecniche e operative ai fini della definizione dei criteri per il monitoraggio, la valutazione e la classificazione del rischio dei manufatti esistenti, anche con riguardo ai carichi transitanti ordinari ed eccezionali, alle criticità idrogeologiche del sito di costruzione e alla pericolosità sismica locale.

Siffatte indicazioni sono in grado di fornire raccomandazioni ai fini della definizione dei piani e dei programmi di controllo e manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere pubbliche e del monitoraggio dinamico delle stesse, anche al fine di definire ed uniformare i criteri per l'effettuazione dell'attività il monitoraggio, per la valutazione della sicurezza strutturale e la classificazione del rischio dei ponti esistenti.

Ulteriore scopo di tali indicazioni è quello di indicare i criteri di analisi di rischio per l'individuazione delle priorità d'intervento per la definizione di piani e programmi di manutenzione straordinaria delle infrastrutture.

Il documento si compone di tre parti: la prima riguarda il censimento e la classificazione del livello di attenzione dei ponti esistenti, la seconda si riferisce alla verifica della sicurezza

²²⁷ L'infrastruttura del sistema IoT per di monitoraggio è generalmente costituita dai seguenti componenti:

- Sensori IoT;
- Gateway e/o concentratori;
- Controller del sistema.

²²⁸ Le Linee Guida, in attuazione di quanto previsto dal decreto legge 28 settembre 2018, n. 109 (c.d. “Decreto Genova”), convertito, con modificazioni, dalla L. n. 130 del 16 novembre 2018, sono state approvate con voto n. 88/2019 dall'Assemblea Generale del Consiglio superiore dei lavori pubblici e successivamente adottate per ANAS e concessionari autostradali con D.M. 578 del 17 dicembre 2020.

e la terza definisce gli elementi per la sorveglianza e monitoraggio dei ponti e dei viadotti esistenti²²⁹.

Per tenere in debito conto le peculiarità della rete stradale e autostradale, anche in relazione alla vetustà ed alla necessaria resilienza della rete, contemperando le diverse esigenze del trasporto e della sicurezza, è stata assunta una vita di riferimento differenziata (periodo transitorio) da assumere nel calcolo delle sole azioni ambientali, per pervenire, ove necessario, ad una operatività ovvero ad una transitabilità condizionata in funzione di una serie graduale di limitazioni al traffico.

Le Linee Guida prevedono che, nel corso di tale arco temporale, il gestore si impegni formalmente ad adottare tutti i necessari provvedimenti per garantire la sicurezza dei cittadini e dei beni, nonché ad eseguire tutti gli eventuali interventi di adeguamento necessari.

Inoltre, le Linee Guida forniscono, sulla base delle vigenti norme tecniche per le costruzioni, le indicazioni aggiuntive e le specificazioni necessarie alla verifica di sicurezza dei ponti, in considerazione delle peculiarità e delle specifiche esigenze del settore.

Infine, dettano, in accordo con le normative e la letteratura internazionale, indicazioni per l'effettuazione del monitoraggio strutturale, inteso come modalità di indagine e di rilevamento dei fenomeni nel tempo, finalizzato anche a popolare di dati trasparenti ed interoperabili la piattaforma dell'archivio informatico nazionale delle opere pubbliche (AINOP).

Sono disposti principi generali e procedure operative di dettaglio, volte a uniformare e omogeneizzare i metodi di censimento, classificazione del rischio, valutazione e monitoraggio dei ponti applicati dai diversi e variegati soggetti gestori, nonché censiti, verificati e promossi dalle strutture ministeriali preposte.

Esse, inoltre, possono inserirsi a pieno titolo, fra i documenti di comprovata validità cui fanno riferimento le vigenti norme tecniche per le costruzioni, di cui al D.M. 17 gennaio 2018, e potranno essere adottate dai professionisti incaricati con le stesse assunzioni di responsabilità indicate dalle citate norme, previa validazione mediante una adeguata fase di sperimentazione sul campo.

Proprio per l'importanza che assumono in un percorso di prospettiva di lungo periodo, per pervenire ad una revisione delle modalità di gestione delle infrastrutture esistenti, è stata prevista dal D.M. 578 del 17 dicembre 2020 una adeguata sperimentazione (di almeno 24-36 mesi) di tutto il processo circoscritta ad un ambito ristretto e ben selezionato, secondo una serie di criteri di priorità predefiniti.

²²⁹ Così come definito nelle Linee Guida, per ponti e viadotti si intendono le costruzioni, aventi luce complessiva superiore ai 6.0 m, che permettono di oltrepassare una depressione del terreno o un ostacolo, sia esso un corso o uno specchio d'acqua, altro canale o via di comunicazione o una discontinuità naturale o artificiale.

Nel merito specialistico della valutazione analitica della sicurezza dei ponti esistenti, lo schema di Linee Guida, imposta tale verifica facendo riferimento alla ridefinizione dei valori dei fattori parziali per azioni e resistenze. In particolare, si applica la filosofia generale degli Eurocodici, basata sull'adozione di valori numerici appropriati per l'*Indice di affidabilità* β^{230} .

Nello specifico, viene adottato il metodo APFM (*Adjusted Partial Factor Method*)²³¹ che tiene conto delle incertezze connesse a diversi fattori (incertezze del modello strutturale, incertezze del modello di verifica, incertezze geometriche etc.). Va altresì rilevato che le scelte effettuate nelle Linee Guida, per calibrare i valori caratteristici delle resistenze sulla base delle valutazioni sperimentali, sono particolarmente cautelative portando sicurezza aggiuntiva.

3.3. Progetto ARGO

Il progetto ARGO fa parte di un percorso di evoluzione strategica e tecnologica intrapreso da ASPI, che vede anche l'introduzione di nuovi strumenti per la gestione innovativa degli asset della Rete e la valorizzazione del patrimonio dati.

Fig. 28 – Piano di trasformazione



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

²³⁰ La valutazione dei fattori parziali è effettuata considerando il valore dell'*indice di affidabilità* β pari a 2,8, valore di base suggerito dal Bollettino 80 della Fib, approvato nella categoria Manuali/Linee Guida/Raccomandazioni, dicembre 2016, per la verifica delle strutture esistenti in Classe di Conseguenza 3.

²³¹ Caspeele R., Taerwe L., 2011, "Proposal of a semi-probabilistic framework for the evaluation of existing concrete structures", Proceedings of *ESREL2011 Annual Conference*, 18-22 September, Troyes, France, pp. 1941-1948.

Il progetto mira infatti a raccogliere in un unico *database* tutte le informazioni che consentono di realizzare e gestire un sistema integrato di digitalizzazione dei controlli e delle ispezioni periodiche, del monitoraggio strumentale e della programmazione e gestione degli interventi di manutenzione, in linea con l'evoluzione normativa e in grado di rispondere alle esigenze degli *stakeholder*.

Nello specifico, il progetto in parola, prevede la realizzazione di una nuova piattaforma sviluppata da IBM in collaborazione con Movyon e basata sulla soluzione *Enterprise Asset Management* IBM Maximo, che permetterà di supportare gli operatori nel controllare lo stato delle infrastrutture di rete, sia in tempo reale che durante l'intero ciclo di vita di ogni opera, traguardando obiettivi di efficienza, qualità e sicurezza. IBM Maximo Asset Management® è una soluzione che consente di gestire, su un'unica piattaforma tecnologica, tutti i tipi di asset: dalle risorse fisiche tradizionali agli emergenti asset intelligenti, offrendo la necessaria visibilità, controllo e automazione delle informazioni chiave necessarie a un'organizzazione per ottenere una maggiore efficienza nella gestione dei medesimi.

Il sistema consentirà di accedere velocemente a tutte le informazioni correlate alle opere, dallo stato dell'infrastruttura fino al completo modello digitale e alla sua storia ispettiva e manutentiva oltre a tutto l'archivio documentale, dal progetto agli interventi effettuati nel tempo. Attraverso il suddetto sistema si potrà, inoltre, accedere ed interrogare il modello BIM dell'opera d'arte. Le ispezioni e gli interventi di manutenzione potranno essere programmati tenendo sempre sotto controllo la storia delle precedenti ispezioni e tutti gli interventi di manutenzione (già eseguiti o programmati). Tutte le attività saranno eseguite secondo specifici processi e livelli autorizzativi, grazie all'adozione di un *workflow* delineato secondo le responsabilità e i ruoli previsti dall'organizzazione aziendale. La piattaforma di monitoraggio consentirà l'integrazione dei dati dei sensori installati sulle infrastrutture.

Il progetto è iniziato con uno pilota, sviluppato nel corso del 2019, che ha permesso di valutare il sistema IBM Maximo con riferimento a:

- gestione dell'anagrafica di ponti e viadotti, compresa la scomposizione di ogni opera in tutte le sue parti;
- gestione del personale e dei mezzi necessari alle ispezioni;
- gestione della pianificazione delle attività di ispezione;
- gestione dell'esecuzione delle attività di ispezione e successiva reportistica;
- adeguatezza di *workflow* approvativi;
- gestione dei dati dei sensori.

Dal punto di vista sperimentale di ricerca sono stati inoltre testati gli algoritmi *di machine learning* di IBM per il riconoscimento dei difetti dalle fotografie.

Attualmente la piattaforma è operativa in ASPI per quanto riguarda tutta la parte di gestione dell'anagrafica degli asset e del processo di ispezione e si stanno portando avanti gli sviluppi per le parti più innovative di *digital twin* e monitoraggio.

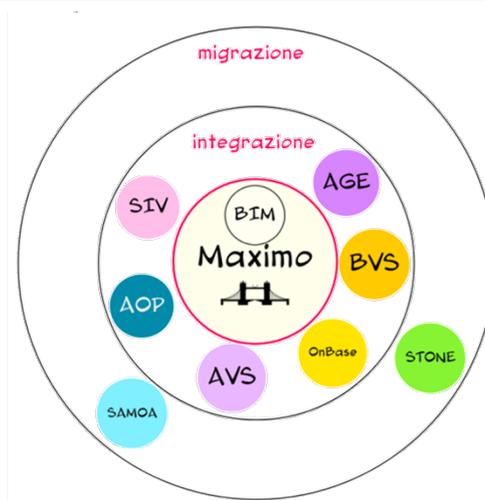
Fig. 29 – Progetto ARGO: dettagli



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Per adeguare i sistemi applicativi esistenti alla nuova architettura con il sistema IBM Maximo, è stato realizzato un *Integration Layer*, cerchiato in rosa nella figura, che facilita la comunicazione tra Maximo e i vari sistemi, garantendo una maggiore interazione tra le varie componenti.

Fig. 30 – Integration Layer



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

SIV è il sistema in cui è gestita l'approvazione la richiesta dei cantieri per l'esecuzione di ispezioni/ordini di lavoro.

AOP si occupa di trasmettere i dati, report, e documenti richiesti alla banca dati AINOP del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile.

AVS è il motore di calcolo per la valutazione della vulnerabilità sismica.

OnBase è il sistema documentale per l'archiviazione, visualizzazione e classificazione di qualsiasi formato di documento.

BVS è il sistema utilizzato da ASPI per la gestione dei trasporti eccezionali sulle opere della rete sovrappassanti della autostradale.

AGE è il sistema aziendale per la gestione del posizionamento delle opere sulla rete autostradale

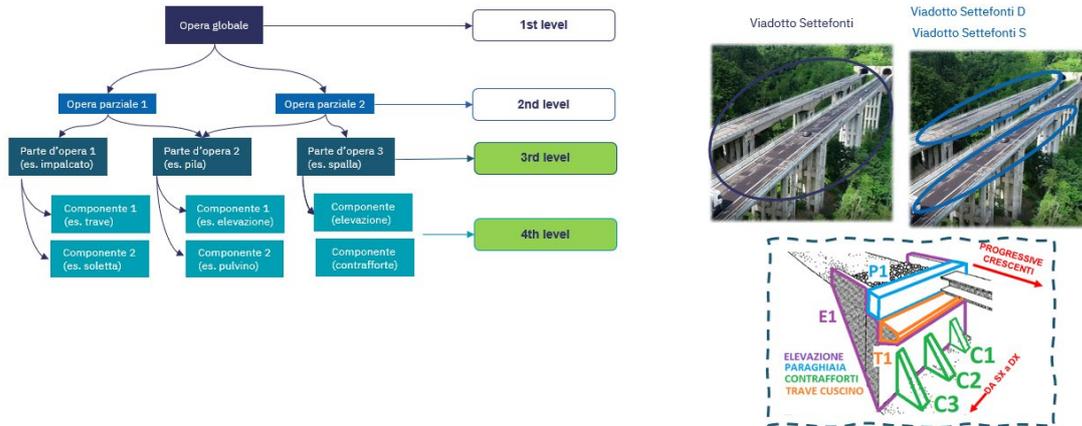
3.3.1. Digital Inventory

Nell'ambito della piattaforma ARGO è stata definita una gerarchia delle opere tale da creare un archivio digitale che permette di rappresentare ogni ponte/viadotto/cavalcavia esattamente come è realizzato, arrivando al dettaglio di ogni singolo elemento. Per la costruzione della banca dati sono stati migrati e consolidati i dati tecnici di dettaglio delle opere dalle banche dati STONE e SAMOA già presenti in ASPI.

Ogni opera è discretizzata su 4 livelli:

- *Opera Globale*: è il primo livello della scomposizione. Ogni opera globale opera ha la caratteristica di non avere elementi di interconnessione con altre opere globali. Ogni opera globale può contenere una o più opere parziali.
- *Opera Parziale*: è il secondo livello della scomposizione. In linea generale, se l'opera globale è "ad impalcato unico" ha una sola opera parziale, se è "ad impalcati separati" ha 2 opere parziali. Nel caso di ampliamenti è possibile che l'opera globale abbia anche più di 2 opere parziali.
- *Pari d'Opera*: è il terzo livello della scomposizione.
- *Componenti*: è il quarto livello della scomposizione dove vengono identificati tutti gli elementi (es. la singola trave).

Fig. 31 – Discretizzazione delle opere



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Tab. 12 – Elenco delle parti d'opera e delle relative componenti

Fondazioni	Spalle	Pile	Archi
Plinto (compresa platea)	Elevazione	Elevazione	Struttura principale
Pali (compreso palo pila)	Paraghiaia	Pulvino	Soletta
Pozzo	Contrafforte	Interconnessioni trasversali (compresi diaframmi)	Interconnessioni trasversali (compresi diaframmi)
Cassone	Trave cuscino	Interconnessioni longitudinali	Interconnessioni longitudinali
			Timpano
			Interconnessioni longitudinali tra pile

Impalcato	Fila di Appoggi	Giunti	Apparecchi sismici
Solettone	Apparecchiatura di Appoggio	Portale o Monaco	Dispositivi antisismici
Travi	Baggiolo	Soletta Intermedia	Ritegno sismico
Trasversi	Cerniera di Taglio	Apparecchiatura di Giunto	
Anime		Massetto	
Controsoletta			
Puntone			
Soletta			
Diaframmi			
Sbalzo soletta laterale			
Sbalzo soletta iniziale e finale			
Interconnessioni longitudinali			

PARTI D'OPERA

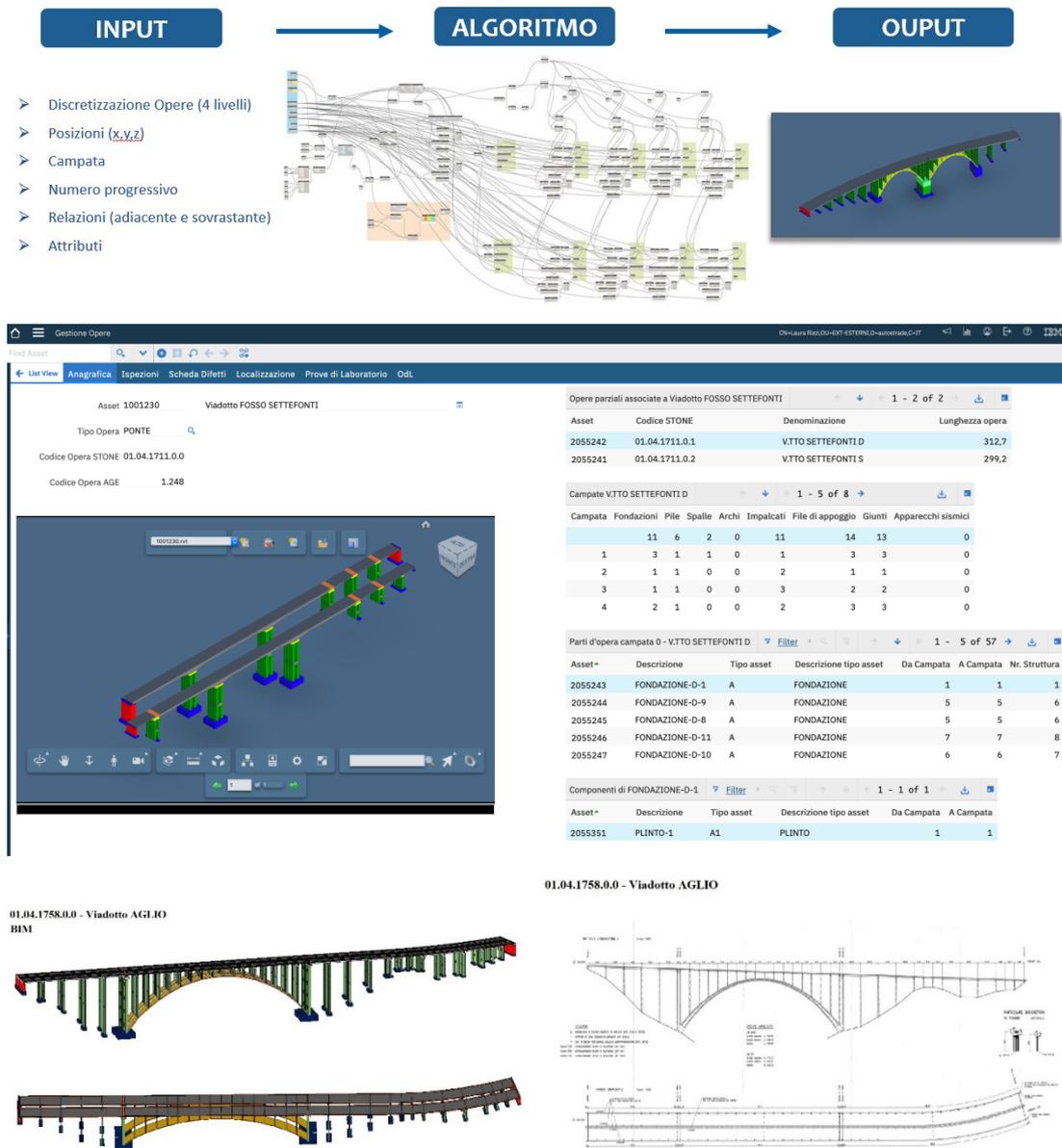
COMPONENTI

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

ARGO è inoltre corredato di un *tool* in grado di generare un modello tridimensionale della struttura a partire dalle sue componenti, in modo che ciascun elemento morfologico nello spazio possa essere facilmente identificato per modificarne gli attributi anagrafici, inserirne un difetto, aggiungere dettagli della manutenzione etc.

Il modello 3D è creato automaticamente da una routine a partire dall'anagrafica dell'opera definita in ARGO e si aggiorna ad ogni modifica della morfologia dell'opera (aggiunta componenti, modifica dimensioni).

Fig. 32 – Costruzione del modello 3D



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

La navigazione del modello tridimensionale consente di identificare e selezionare un elemento morfologico nel disegno 3D, per trovarne la rappresentazione anagrafica, o viceversa permette la ricerca anagrafica e la successiva individuazione all'interno del disegno. Questo legame tra modello tridimensionale e morfologia dell'opera archiviata nel sistema di *asset management* permette di disporre di un legame stretto tra renderizzazione 3D dell'opera e informazioni disponibili nella banca dati relazionale. Il disegno 3D, così come le informazioni anagrafiche, sono fruibili anche attraverso una app ispettiva appositamente sviluppata, che consente all'ispettore di avere sempre a disposizione quanto necessario per completare le sue attività. Il sistema, realizzato secondo le indicazioni

contenute nelle linee guida del CSLPP, consente la classificazione delle opere secondo le Classi di Attenzione previste. La CdA (Classe di Attenzione) è un parametro associato ad ogni singola opera globale e ne definisce la stima, semplificata e speditiva, dei fattori di rischio associati alle opere. Le Linee Guida prevedono 5 Classi di Attenzione (Alta; Media-Alta; Media; Medio-Bassa; Bassa).

Il valore della Classe di Attenzione è individuato mediante la valutazione semplificata della pericolosità, dell'esposizione e della vulnerabilità associati alla singola opera, distinguendo quattro tipologie di rischio:

- Rischio strutturale e fondazionale (CdA strutturale e fondazionale);
- Rischio sismico (CdA Sismica);
- Rischio frane (CdA Frane);
- Rischio idraulico (CdA Idraulica).

Fig. 33 – Scheda Valori Classe di Attenzione

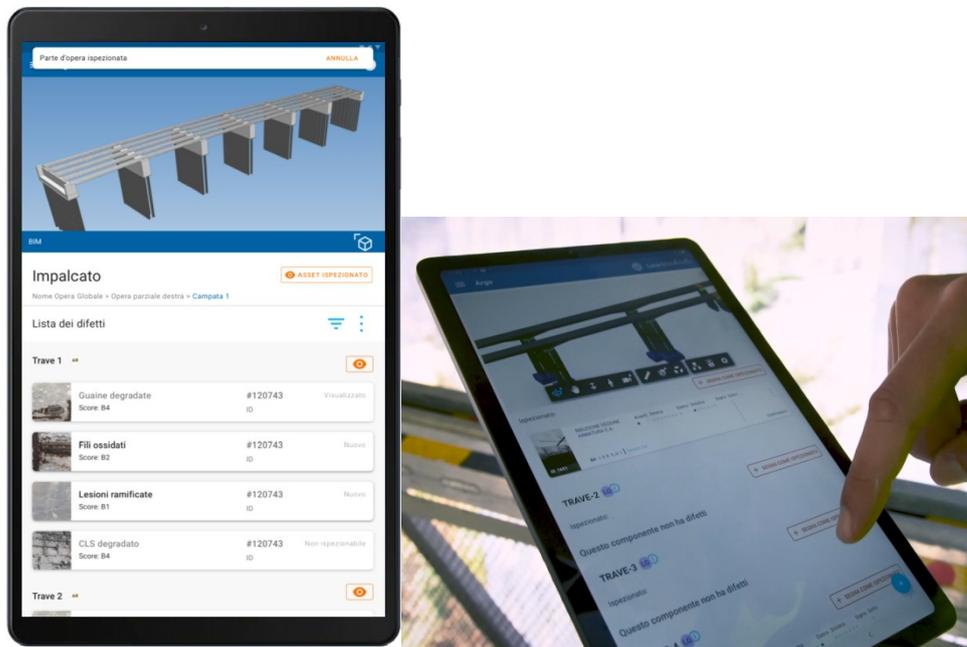
The screenshot displays the 'Scheda Valori Classe di Attenzione' interface. At the top, there are tabs for 'Opera Globale', 'Opera Parziale', 'Parte d'Opera', and 'Componente'. The main area contains several data fields: 'Codice Opera STONE 07.01.0157.0.1', 'Descrizione Ponte CAGNOLA', 'Codice Opera AGE 36', 'Tipo Opera sottopassante >10m1', 'Codice ADP', 'Categoria Opera OPERA MAGGIORE1', 'Codice ASSCAT', 'Società AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.', 'Asset 1000035', 'Tronco TRONCO 1 GENOVA', 'Autostrada A07 MILANO-GENOVA', and 'Ramo A07 MILANO-GENOVA'. On the right side, there is a search bar for 'Classe di attenzione (cdA)', 'Km di riferimento 99.489', 'Tipo opera PONTE', 'Stato opera IN ESERCIZIO', 'Data apertura al traffico 3/22/40', and 'Data ultima ispezione'. Below these fields, there is an 'Attachments' section with a 'Sync ONBASE' button. At the bottom, there is a 'Localizzazione' section with tabs for 'Dati ambientali', 'CSA', and 'Attributi'. Under the 'CSA' tab, there are search bars for 'CdA - Strutturale e Fondazionale', 'CdA - Sismica', 'CdA - Idraulica', and 'CdA - Frane'.

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

3.3.2. Inspection Process

Nella piattaforma ARGO le ispezioni sono condotte con un'applicazione mobile, accessibile sia *online* che *offline*, integrata con quanto realizzato nella piattaforma di *Asset Management*. La soluzione digitalizza tutto il processo di ispezione per una tracciabilità completa delle attività, dalla pianificazione all'esecuzione, monitorando l'impegno di mezzi e risorse. Nel corso delle ispezioni i difetti sono dettagliati sui singoli componenti delle opere (ovvero sulla singola trave, trasverso, elevazione, etc.) e si avrà pertanto una fotografia puntuale dello stato di ogni opera.

Fig. 34 – Sistema *mobile* di monitoraggio dell'opera



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

I difetti applicabili sui singoli componenti sono censiti in Maximo in un apposito catalogo con i criteri di valutazione ed i giudizi.

Ogni difetto è caratterizzato da 3 parametri:

- ubicazione (*U*);
- intensità (*I*);
- estensione (*E*);

indipendentemente da quale sia il metodo di assegnazione del difetto. Il giudizio viene quindi espresso secondo parametri oggettivi.

Tab. 13 – Applicazione dei difetti in *Maximo*

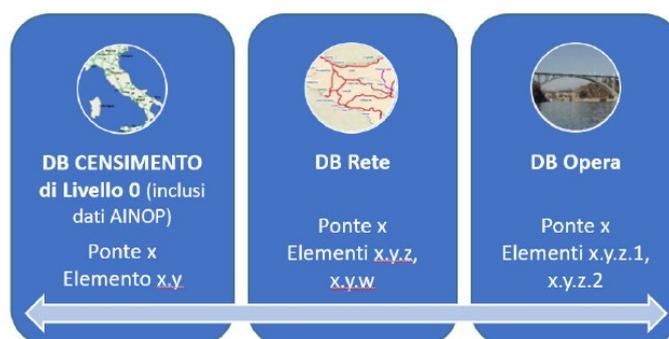
	Nuovo manuale sorveglianza ASPI
Metodo assegnazione difetto	Difetto identificato da 8 classi alfa-numeriche afferenti a 3 classi di difettosità (A – B – C)
Espressione diretta del giudizio	No
Espressione parametri U - I – E	L'ispettore identifica i tre parametri dalla cui combinazione deriva la classe di difettosità
Elemento al quale viene assegnato il difetto	Singola componente (per ogni parte d'opera più componenti)
Gravità intrinseca (*)	Si, per ciascun difetto è stata individuata una (o anche più di una) classe di gravità intrinseca
Tempistiche intervento	Tempistiche basate sugli esiti delle valutazioni di sicurezza attivate con priorità in funzione delle classi di difettosità
Elementi critici (*)	Individuate opere con elementi critici che con presenza di difetti di qualsiasi intensità finiscono in classe alta

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

I contenuti delle schede ispettive e le regole vincolanti ciascun tipo di ispezione sono coerenti con le indicazioni delle *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti* del CSLP.

Tutto il sistema di identificazione, la scomposizione dell'opera e la scelta di associare i difetti ad ogni Componente dell'opera sono infatti coerenti con quanto indicato al par. 7.3. delle citate Linee Guida.

Fig. 35 – Sistema di identificazione a più livelli interconnessi



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Anche l'utilizzo di strumenti digitali di ausilio all'ispettore è raccomandato dalle Linee Guida e permette un'associazione univoca della difettosità all'elemento dell'opera (v. LG par. 7.4 – Le ispezioni).

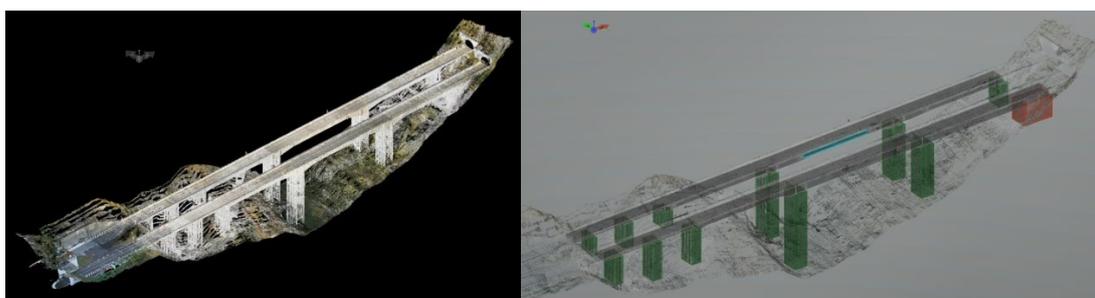
Il sistema è inoltre integrato con l'Archivio Informativo Nazionale delle Opere Pubbliche (AINOP) al quale invia i dati già a partire dalla fine del 2019 (vedi paragrafo dedicato di seguito).

3.3.3. Attività innovative: Digital Twin

In questo contesto, i droni possono svolgere un ruolo primario nella generazione del modello tridimensionale della struttura, dei rilievi globali e di dettaglio, e nello svolgimento delle ispezioni.

Con la *partnership* di Fincantieri NexTech si sta sperimentando l'utilizzo di droni dotati di videocamere ad altissima risoluzione e laser LIDAR in grado di effettuare la scansione tridimensionale dell'opera trasformandola in milioni di punti georeferenziati nello spazio e associabili ad ogni suo singolo componente.

Fig. 36 – Costruzione immagini da scansione tridimensionale (droni e LIDAR)



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Ogni informazione acquisita è dunque basata sui rilievi dei gemelli digitali delle opere, geolocalizzata e integrata all'interno del sistema, per essere poi facilmente utilizzata dal gestore. I modelli digitali possono essere utilizzati come base sia per la produzione di disegni CAD attendibili, sia per la modellazione BIM.

Gli stessi droni possono essere, inoltre, utilizzati per le ispezioni periodiche e ripetibili, sfruttando tutte le potenzialità di sensori innovativi che permettono di rilevare difetti, ammaloramenti ed elementi che non sono visibili attraverso l'ispezione eseguita tramite metodi tradizionali. È peraltro possibile rilevare elementi chimici specifici grazie all'uso di camere iper-spetttrali o SWIR e identificare difetti visibili fino a meno di 1 millimetro.

Il sistema prevede altresì lo studio di un modello basato sull'intelligenza artificiale che permette di riconoscere e classificare, a partire da immagini ad alta risoluzione, diverse tipologie di difetti che affliggono le opere con una attendibilità elevata.

In particolare, il difetto viene non soltanto identificato e localizzato ma persino classificato, ovvero ne viene determinata la tipologia. L'ispettore quindi, a fronte delle

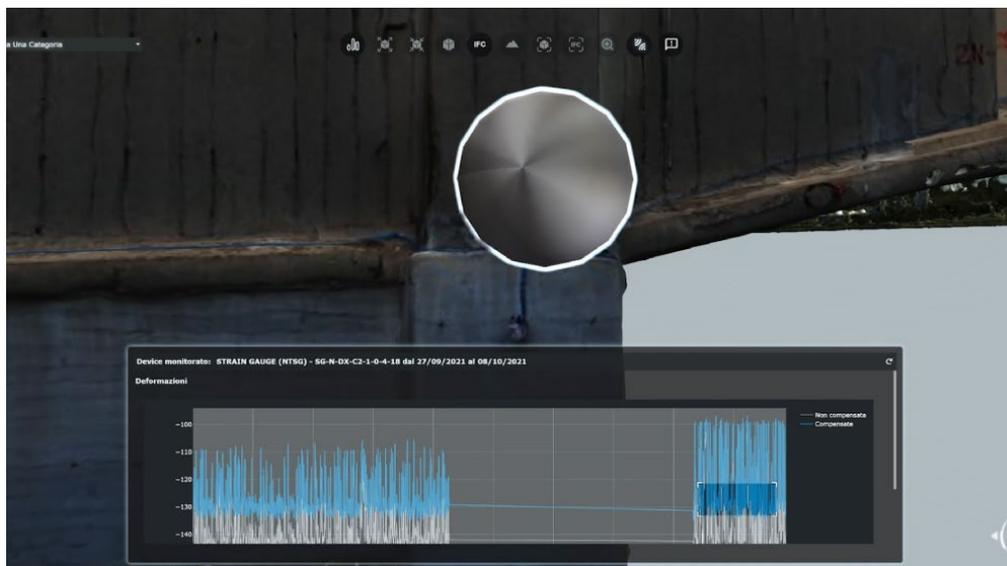
fotografie effettuate, potrà avvalersi di questa funzionalità a supporto delle sue decisioni per identificare e classificare i difetti. Il sistema descritto potrebbe recepire ulteriori integrazioni che prevedano lo sviluppo di un sistema di diagnostica del difetto, in grado di correlare un'anomalia identificata ad uno specifico scenario di danno per valutarne l'incidenza da un punto di vista strutturale.

3.3.4. Attività innovative: monitoraggio strutturale

La piattaforma ARGO è già sviluppata per supportare ed integrare sensori Industrial IoT e soluzioni tecnologiche di ultima generazione, per analizzare l'andamento dei parametri ingegneristici strutturali dell'opera sia statici che dinamici e la costruzione di algoritmi di valutazione del comportamento in esercizio e durante le fasi manutentive.

I dati, ricevuti da un sistema di acquisizione, sono infatti inviati sia ad una piattaforma IoT che è in grado di analizzarli in real-time, sia a un *datalake* per elaborazioni che prevedano uso di dati storici. I dati di monitoraggio strutturale sono inoltre integrati all'interno della piattaforma *software* di gestione, univoca degli asset legati alle opere, per censire i sensori stessi come *asset*, e per far confluire in maniera automatica i dati (o una loro sintesi/elaborazione) sull'*asset management system*, così da fornire uno strumento di supporto decisionale al gestore dell'infrastruttura.

Fig. 37 – Specifiche del monitoraggio strutturale



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

L'implementazione del processo di monitoraggio strutturale prevede lo sviluppo di progetti pilota su alcuni manufatti prototipo con differenti complessità ingegneristiche, intrapresi allo scopo di valutare l'efficacia della metodologia e validare una tecnologia che

potrà essere successivamente utilizzata su un grande numero di opere nelle fasi successive. A tale scopo, sono stati attivati, in collaborazione con il MIMS e con alcuni istituti universitari tra cui l'Università di Trento, il Politecnico di Torino ed il Consorzio FABRE progetti di ricerca atti a definire un processo razionale per la progettazione di sistemi di monitoraggio attraverso l'identificazione delle grandezze che rappresentano l'obiettivo del monitoraggio, la definizione dell'accuratezza richiesta, la scelta delle grandezze da misurare, dei punti di misura e dei modelli d'interpretazione.

Si sta inoltre sperimentando l'integrazione con sistemi di pesatura dinamica, che consentiranno sia di verificare, in entrata in autostrada, il rispetto dei limiti di peso autorizzati per i Transiti Eccezionali, sia di monitorare in tempo reale il comportamento delle infrastrutture al passaggio dei mezzi pesanti.

Fig. 38 – Simulazione di pesatura dinamica



Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Al fine di valutare le molteplici implementazioni del Sistema di *Asset Management* è stato istituito un Comitato Scientifico, costituito dalle più autorevoli università di Italia in termini di ponti e viadotti, referenti di ASPI, TECNE e MOVYON.

3.3.5. AINOP e ARGO

Significativo rilievo riveste l'interrelazione tra l'AINOP e il sistema ARGO. In particolare i dati relativi alla sottosezione "Anagrafica" sono conferiti in AINOP automaticamente a partire dalle informazioni presenti in ARGO. Preliminarmente all'invio è stata eseguita un'analisi puntuale di tutti i campi per definire le regole di ETL (*Extract, transform, load*).

Fig. 39 – Mappatura AINOP

Mappatura AINOP		LEGENDA:																																																																																																																			
		Dato presente in Massimo																																																																																																																			
		Modifica di dati presenti in Massimo																																																																																																																			
		Da verificare																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">DATI RICHIESTI DAL DECRETO AINOP</th> <th colspan="5">DATI PRESENTI NEL SISTEMA MASSIMO DI ASPI</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>AMBITO</th> <th>SCHEDA</th> <th>PARAMETRO</th> <th>GRATE OBLIGATORIA FACCIA A VIVA</th> <th>TIPOLOGIA DA</th> <th>DESCRIZIONE</th> <th>DISPONIBILE IN ASPI</th> <th>OPED. A</th> <th>PARTI D'OPERA</th> <th>COMPLETATE</th> <th>ESISTE CAMPI IN MASSIMO</th> <th>DESCRIZIONE CAMPI IN MASSIMO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MIT050</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>SPALLE</td> <td>TPOLOGIA SPALLA FINALE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>La tipologia della spalla stradale</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>XC-TIP-POS-SPA</td> <td>CODICE TIPO POSIZIONE SPALLA</td> </tr> <tr> <td>MIT051</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>SPALLE</td> <td>FONDAZIONI SPALLA FINALE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>Il tipo di fondazione della spalla stradale</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Fondazione</td> <td>-</td> <td>XFN0-TIP-FON</td> <td>TPOLOGIA DI FONDAZIONE</td> </tr> <tr> <td>MIT052</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>SPALLE</td> <td>FONDAZIONI SPALLA FINALE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>Il tipo di fondazione della spalla finale</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Fondazione</td> <td>-</td> <td>XFN0-TIP-FON</td> <td>TPOLOGIA DI FONDAZIONE</td> </tr> <tr> <td>MIT053</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>PILE</td> <td>MATERIALE COSTRUTTIVO</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>Il materiale costruttivo che caratterizza la pile</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Pila</td> <td>-</td> <td>XT-MAT</td> <td>MATERIALE</td> </tr> <tr> <td>MIT054</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>PILE</td> <td>TIPO SEZIONE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>Il tipo di sezione che caratterizza la pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Pila</td> <td>-</td> <td>XT-TIP-SEZ</td> <td>TIPO SEZIONE PIENACAVA</td> </tr> <tr> <td>MIT055</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>PILE</td> <td>GEOMETRIA SEZIONE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>La geometria che caratterizza le pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Pila</td> <td>-</td> <td>XT-SEZ-TRA</td> <td>SEZIONE TRASVERSALE</td> </tr> <tr> <td>MIT056</td> <td>PONTE VIADOTTI STRADALI</td> <td>PILE</td> <td>TPOLOGIA FONDAZIONE PILE</td> <td>0</td> <td>Char(20)</td> <td>La tipologia di fondazione della pile</td> <td>SI</td> <td>Parziale</td> <td>Fondazione</td> <td>-</td> <td>XFN0-TIP-FON</td> <td>TPOLOGIA DI FONDAZIONE</td> </tr> </tbody> </table>				DATI RICHIESTI DAL DECRETO AINOP					DATI PRESENTI NEL SISTEMA MASSIMO DI ASPI					ID	AMBITO	SCHEDA	PARAMETRO	GRATE OBLIGATORIA FACCIA A VIVA	TIPOLOGIA DA	DESCRIZIONE	DISPONIBILE IN ASPI	OPED. A	PARTI D'OPERA	COMPLETATE	ESISTE CAMPI IN MASSIMO	DESCRIZIONE CAMPI IN MASSIMO	MIT050	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	TPOLOGIA SPALLA FINALE	0	Char(20)	La tipologia della spalla stradale	SI	Parziale	-	-	XC-TIP-POS-SPA	CODICE TIPO POSIZIONE SPALLA	MIT051	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	FONDAZIONI SPALLA FINALE	0	Char(20)	Il tipo di fondazione della spalla stradale	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE	MIT052	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	FONDAZIONI SPALLA FINALE	0	Char(20)	Il tipo di fondazione della spalla finale	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE	MIT053	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	MATERIALE COSTRUTTIVO	0	Char(20)	Il materiale costruttivo che caratterizza la pile	SI	Parziale	Pila	-	XT-MAT	MATERIALE	MIT054	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	TIPO SEZIONE	0	Char(20)	Il tipo di sezione che caratterizza la pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)	SI	Parziale	Pila	-	XT-TIP-SEZ	TIPO SEZIONE PIENACAVA	MIT055	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	GEOMETRIA SEZIONE	0	Char(20)	La geometria che caratterizza le pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)	SI	Parziale	Pila	-	XT-SEZ-TRA	SEZIONE TRASVERSALE	MIT056	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	TPOLOGIA FONDAZIONE PILE	0	Char(20)	La tipologia di fondazione della pile	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE
DATI RICHIESTI DAL DECRETO AINOP					DATI PRESENTI NEL SISTEMA MASSIMO DI ASPI																																																																																																																
ID	AMBITO	SCHEDA	PARAMETRO	GRATE OBLIGATORIA FACCIA A VIVA	TIPOLOGIA DA	DESCRIZIONE	DISPONIBILE IN ASPI	OPED. A	PARTI D'OPERA	COMPLETATE	ESISTE CAMPI IN MASSIMO	DESCRIZIONE CAMPI IN MASSIMO																																																																																																									
MIT050	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	TPOLOGIA SPALLA FINALE	0	Char(20)	La tipologia della spalla stradale	SI	Parziale	-	-	XC-TIP-POS-SPA	CODICE TIPO POSIZIONE SPALLA																																																																																																									
MIT051	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	FONDAZIONI SPALLA FINALE	0	Char(20)	Il tipo di fondazione della spalla stradale	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE																																																																																																									
MIT052	PONTE VIADOTTI STRADALI	SPALLE	FONDAZIONI SPALLA FINALE	0	Char(20)	Il tipo di fondazione della spalla finale	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE																																																																																																									
MIT053	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	MATERIALE COSTRUTTIVO	0	Char(20)	Il materiale costruttivo che caratterizza la pile	SI	Parziale	Pila	-	XT-MAT	MATERIALE																																																																																																									
MIT054	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	TIPO SEZIONE	0	Char(20)	Il tipo di sezione che caratterizza la pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)	SI	Parziale	Pila	-	XT-TIP-SEZ	TIPO SEZIONE PIENACAVA																																																																																																									
MIT055	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	GEOMETRIA SEZIONE	0	Char(20)	La geometria che caratterizza le pile (es. circolare, rettangolare, ecc.)	SI	Parziale	Pila	-	XT-SEZ-TRA	SEZIONE TRASVERSALE																																																																																																									
MIT056	PONTE VIADOTTI STRADALI	PILE	TPOLOGIA FONDAZIONE PILE	0	Char(20)	La tipologia di fondazione della pile	SI	Parziale	Fondazione	-	XFN0-TIP-FON	TPOLOGIA DI FONDAZIONE																																																																																																									

Fonte: ns. elaborazione e adattamento da Autostrade per l'Italia S.p.a.

Le sezioni di interesse per ASPI sono quelle relative ai Ponti, viadotti e cavalcavia stradali, alle Strade ed alle Gallerie ferroviarie e gallerie stradali. È stato quindi sviluppato uno strato software intermedio (AOP) con il compito di gestire tutte le azioni necessarie prima dell'invio del dato.

Per ogni opera vengono inoltre inviate ogni trimestre le schede delle ispezioni di legge eseguite ai sensi della Circolare 19 luglio 1967 n. 6736/61A1 del Ministero lavori pubblici. Questi dati vengono inseriti nella sezione "Manutenzioni" dove, per ogni ispezione, è riportata la data, la tipologia di ispezione (Ordinaria - trimestrale, Principale – annuale), il codice sintetico di giudizio, l'Ente che ha eseguito l'accertamento ed è allegata la scheda di ispezione in PDF. Al riguardo ASPI è stata tra le prime Società ad alimentare il sistema, inviando le schede di ispezione già dal 3° quadrimestre dell'anno 2019.

Anche per quanto attiene alle ispezioni, tutti i dati riguardanti le stesse sono inviati dalla piattaforma ARGO utilizzando lo strato software intermedio AOP.

CAPITOLO 4

CONCLUSIONI

Il lavoro dottorale si è sviluppato intorno al tema della sicurezza delle opere costituenti il patrimonio infrastrutturale italiano, con particolare riguardo ad elementi specifici quali autostrade, ponti, strade e *tunnel*.

In particolare, nel capitolo primo è stato analizzato l'impatto degli interventi pubblici in relazione all'area tematica trattata, con l'obiettivo primario di misurare l'efficacia della crescita economica di specifiche aree (cfr. tab. 1). Nel dettaglio, sono stati analizzati i risultati dei lavori di ricerca (nazionali e internazionali) più significativi pubblicati dal 1993 al 2012 che hanno investigato negli U.S.A., in Europa e anche in Italia sulle elasticità stimate dell'impatto degli interventi di capitale pubblico sulla crescita economica nelle funzioni di produzione e VAR (*Vector Auto Regressive*). Le risultanze di tali studi hanno evidenziato come, tra i Paesi considerati, l'impatto in questione risulti più significativo nei Paesi Europei, con una stima di elasticità riferita al *product function* riportata da Stephan (2003) che oscilla tra lo 0,38 e lo 0,65. Impiegando il fattore VAR, invece, la stima più elevata della elasticità è riferita proprio all'Italia (0,62) ed è evidenziata in due studi italiani di Di Giacomo, Micucci, Montanaro (2010 e 2012).

Nella stessa sezione è stato rappresentato (tab. 2) l'impatto macroeconomico degli investimenti in infrastrutture. Al riguardo, circa 116 articoli internazionali pubblicati dal 1976 al 2010 hanno evidenziato (per il 67,36%) dei "*chiari e univoci effetti positivi*" macroeconomici degli investimenti nel patrimonio infrastrutturale.

Ciò a riprova del fatto che gli investimenti per la manutenzione (ordinaria e/o straordinaria), o la creazione di nuove infrastrutture generano un impatto positivo sul nostro prodotto interno lordo (P.I.L.).

Nuove infrastrutture, ovvero infrastrutture meno vetuste²³² e maggiormente fruibili rappresentano, dunque, un fattore di rilancio/ripresa economica nazionale. Non solo, si rileva che gli elementi viari del patrimonio infrastrutturale (autostrade, ponti, strade e *tunnel*) facilitano la mobilità di persone e merci attraverso cui l'economia di un Paese garantisce il funzionamento di interi comparti produttivi. Tali investimenti riguardano, oltre che interventi di natura strutturale o architettonica, anche innovazioni a carattere tecnologico per consentire l'acquisizione di dati per diverse esigenze.

²³² A legislazione vigente sono stati destinati, nel periodo dal 2019 al 2033, fondi per la manutenzione di ponti, viadotti, sottopassi e cavalcavia per un complessivo ammontare di 2,8mld€.

Delineato il contesto e il problema della ricerca, sono stati formulate le domande di ricerca poste a fondamento del presente elaborato:

RQ1: in che modo la tecnologia esistente può contribuire a preservare la salubrità, ai fini della sicurezza, del patrimonio infrastrutturale italiano (con particolare riferimento al sistema viario)?

RQ2: è possibile definire un modello teorico che, mediando tra teorie manageriali e tecnologia esistente, contribuisca a supportare i *policy makers* per preservare la salubrità del patrimonio infrastrutturale italiano (con particolare riferimento al sistema viario)?

Quanto alla metodologia della ricerca, essa è stata esplicitata nel primo capitolo del lavoro. Si riferisce ad un approccio di tipo qualitativo nell'ambito del quale sono stati utilizzati due strumenti in particolare: un *systematic literature review* (SLR) e un *case study research* mediante utilizzo del *multiple case study*. Con riferimento alla SLR, la strategia di ricerca che ne ha guidato il *setup* è stata finalizzata a rilevare, mediante l'utilizzo del *database* SCOPUS, la letteratura esistente sul tema della tecnologia (*big data, Internet of Things, Cloud, Artificial Intelligence, data analytics, machine learning e data science*) in relazione alle infrastrutture e, in particolare, a quelle costituite da autostrade, ponti, strade e tunnel. Il primo risultato è stata la rilevazione di n=959 documenti che mediante l'applicazione di filtri per natura dei prodotti della ricerca (solo articoli in rivista), della lingua (solo in lingua inglese), e del settore scientifico (sono stati esclusi tutti i lavori non inerenti le domande di ricerca), è stata ridotta a n=64. Tali lavori sono stati analizzati per analizzare il fenomeno oggetto d'indagine: in particolare, le aree teoriche di riferimento normalmente impiegate nello studio delle tecnologie applicate alle infrastrutture ed i modelli teorici prodotti per migliorare la sicurezza delle opere d'arte.

Il secondo capitolo può essere definito come il frutto delle risultanze della metodologia di ricerca applicata nel primo capitolo. Le aree teoriche strumentali a fornire risposte alle domande di ricerca sono state individuate e dettagliate secondo la letteratura esistente.

Costituiscono il *theoretical background* le seguenti aree teoriche:

- *Big data & Analytics*;
- *Knowledge Management*;
- *Risk Management*;
- *Service Quality*.

Il *theoretical framework*, invece, che deriva dalla base di conoscenza è una rappresentazione sistemica dell'interazione delle aree teoriche individuate e selezionate in modo coerente con le finalità del presente lavoro. Viene usualmente definito come un insieme sviluppato e connesso – in modo logico – di concetti e premesse, elaborati mediante l'individuazione di una o più teorie, normalmente impiegate per l'impostazione di una

ricerca (Varpio et al., 2020) ²³³. La conseguenza logica delle interazioni tra *big data & analytics* e *knowledge management* è individuata nella natura della grande mole di dati e nella loro funzione nel modello DIKW (*Data, Information, Knowledge; Wisdom* rappresentato nella fig. 5 del cap. 2) appartenente all'ambito del *knowledge management*. In tal senso, il punto di partenza per giungere alla saggezza (*wisdom*) è rappresentato proprio dai dati. La capacità di raccogliarli (mediante tecnologia fisica e immateriale) e l'impiego degli *analytics* consentono la transizione dai dati alle informazioni, mentre la loro gestione e implementazione (mediante supporti metodologici) permette la "maturazione" che vede le informazioni evolversi in conoscenza. Grande importanza, in tal senso, è il contributo della *blockchain* nella riduzione di criticità e problematiche legate alla raccolta dei (*big*) data. Tale meccanismo innesca un processo decisionale che impatta sulla risoluzione di problemi reali (come, ad esempio, il miglioramento della sicurezza nel patrimonio infrastrutturale italiano). In altri termini, dalle corrette decisioni, da assumere in contesti ad alta complessità, si può giungere alla saggezza, da intendere come implementazione continua e costante della conoscenza derivante da una base informativa frutto dell'acquisizione dinamica e costante di dati. Dati (e la loro qualità garantita dall'adozione della *blockchain* in fase di raccolta dei *big data*) e gestione della conoscenza influenzano e sono influenzati dall'ambito dei rischi. Il *risk management*, infatti, nell'orientare e caratterizzare le *policy* di *governance*, impattano sull'area più *operation*. Da qui, l'acquisizione di dati ed informazioni secondo un'impostazione che rispetti tale finalità: elaborare decisioni (da dati, informazioni e conoscenza) per mitigare rischi reali e prevenire l'accadimento di eventi avversi connessi a tali rischi. Ovviamente, è solo mediante un orientamento di governo *risk oriented* che è possibile attivare realmente percorsi di mitigazione del rischio. Tale area, infatti, richiede un preciso indirizzo culturale nella definizione di decisioni e di etichettatura di fenomeni da cui deriva la classificazione di un grado di rischio in base al quale si attivano o meno determinate azioni. Con riguardo alla *service quality*, essa rappresenta un passaggio fondamentale e funzionale al completamento del quadro teorico, dal momento che il patrimonio infrastrutturale italiano costituisce un vero e proprio strumento per la fornitura di servizi da parte di organizzazioni pubbliche e private. Le definizioni della letteratura relative alla misurazione della qualità dei servizi rappresentano elementi a cui riferirsi per l'impostazione di decisioni che, nel perseguire molteplici obiettivi, possono generare impatti positivi anche sulla qualità dei servizi prestati.

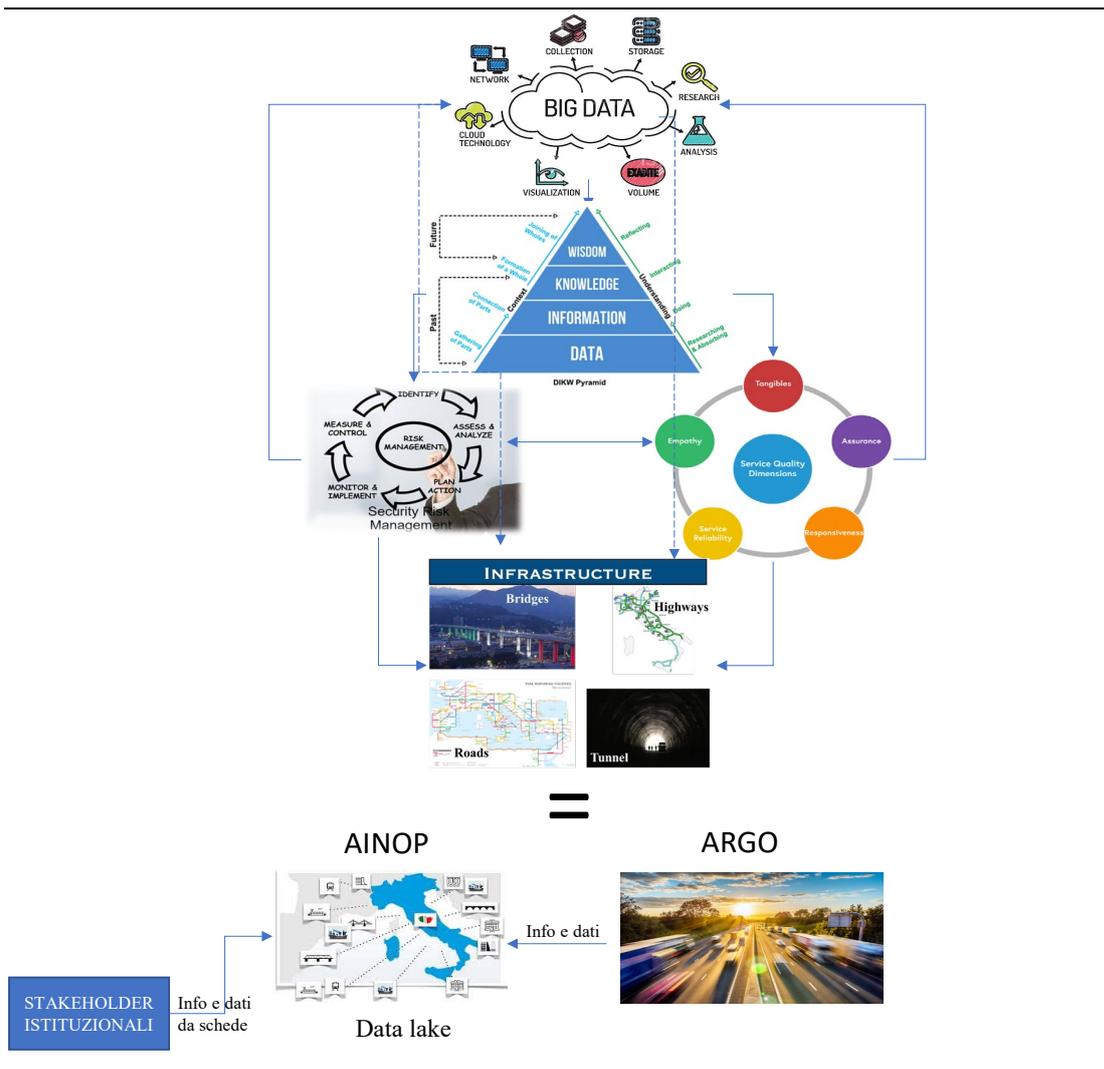
Il terzo capitolo dell'elaborato è stato improntato sulla presentazione di un *multiple case study* mediante utilizzo di una strategia di ricerca qualitativa nota come "*case study*"

²³³ Varpio, L., Paradis, E., Uijtdehaage, S., Young, M., 2020, The distinctions between theory, theoretical framework, and conceptual framework. *Academic Medicine*, 95(7), 989-994.

research” (Yin, 1983). Due, in particolare, sono stati i progetti oggetto di studio: AINOP e ARGO, entrambi attinenti all’area della sicurezza nel settore delle infrastrutture.

Nella sottostante fig. 40 viene rappresentata una applicazione del *theoretical framework* per verificare la sua effettiva riferibilità ai progetti AINOP e ARGO. Questi ultimi testimoniano la volontà dei *policy makers* di costruire sistemi per salvaguardare la sicurezza delle infrastrutture basati sull’utilizzo dei *big data*. In altri termini, l’obiettivo finale è quello di creare i presupposti di sicurezza attraverso cui prevenire e scongiurare l’accadimento di eventi disastrosi, come quello del ponte Morandi di Genova. Il *theoretical framework* sviluppato nel presente lavoro è unico e rappresenta un importante *outcome* (sebbene con le limitazioni descritte di seguito) che può contribuire a migliorare la conoscenza di complessi fenomeni esistenti e ad impostare progettualità future nell’ottica della prevenzione e mitigazione dei rischi, finalizzate al miglioramento della qualità dei servizi, e segnatamente del diritto a una mobilità sicura in chiave di sostenibilità ambientale.

Fig. 40 – Theoretical framework applicato ai progetti AINOP e ARGO



Come rappresentato nel cap. 3, e più dettagliatamente nelle specifiche dei due casi di studio oggetto di analisi (AINOP e ARGO), gli *stakeholder* coinvolti, a vario titolo, nel settore infrastrutturale possono (e devono) contribuire all'immissione di dati e informazioni in AINOP. Quest'ultimo rappresenta un cosiddetto “*data lake*” che, da un lato incamera dati immessi da soggetti esterni (i vari *stakeholder* esterni) e da sistemi terzi (ARGO), dall'altro acquisisce e sviluppa i dati e le informazioni da tecnologia propria (sistema monitoraggio dinamico).

Quanto all'ambito del *risk management*, si rileva come lo stesso possa essere implementato sia in AINOP che in ARGO, atteso che in letteratura molteplici sono le categorizzazioni dei rischi fornite anche in chiave multidisciplinare. Sul punto, giova sottolineare come una più ampia catalogazione dei rischi consentirebbe un migliore inquadramento del problema oltre che un più efficace processo di *problem solving*, rendendo le *policy* più incisive sia in termini di economicità che di efficacia delle soluzioni.

Tale ragionamento vale anche per la *service quality*. L'inserimento nel *core project* delle dimensioni della qualità, consentirebbe, in ottica SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunity and Threats*), di migliorare costantemente la qualità dei servizi del patrimonio infrastrutturale. In particolare, le informazioni ed i dati potrebbero essere interfacciati, in una “dialettica” armonica, con l'ambito della *customer satisfaction* dei fruitori dei servizi infrastrutturali.

Di grande interesse è l'interazione tra l'ambito del *risk management* e quello della *service quality* con riferimento agli investimenti, ovvero agli interventi di manutenzione sul patrimonio infrastrutturale italiano. La qualità dei servizi sul patrimonio in questione può essere infatti migliorata in modo diretto allorché *policy makers* si focalizzano su investimenti nei servizi (probabilmente su informazioni e dati raccolti dai soggetti gestori delle tratte o degli elementi costituenti il patrimonio infrastrutturale italiano), o in modo indiretto, laddove attivino un processo decisionale indicando la necessità di intervenire per mitigare rischi e/o per prevenire eventi calamitosi. In questo caso, l'ambito della *service quality* non è beneficiario diretto delle scelte (che in *primis* attengono all'area della sicurezza) ma deve essere comunque considerata (al netto di scelte di intervento tempestivo) affinché gli investimenti che sono direttamente indirizzati a salvaguardare la sicurezza di persone e cose, producano, in ogni caso, un miglioramento della qualità per i fruitori dei servizi legati al patrimonio *de quo*.

Entrambe le domande di ricerca sono state soddisfatte con i risultati conseguiti nel presente lavoro di ricerca.

Con riferimento alla RQ1, è stato rilevato dalle risultanze della SLR realizzata nel cap. 1 (come riportato nella tab. 4 con n=64) che i *big data* rappresentano la fonte primaria di dati e informazioni che vengono impiegati per la modellazione finalizzata alla sicurezza delle

infrastrutture. Attraverso l'*Internet of Things* e il *machine learning*, infatti, i dati vengono "autoimplementati" e "maturati" per fornire un quadro più coerente e rappresentativo di una realtà sempre in movimento. Tale tecnologia, tuttavia, necessita di una chiave di lettura e di un trattamento indirizzato verso specifiche finalità che variano a seconda del contesto in cui i *policy makers* si trovano ad operare. In aggiunta a ciò, occorrerebbe perfezionare e migliorare le procedure decisionali di intervento così da chiarire, e al contempo evidenziare, il ruolo del supporto (o suggerimento) dei *big data* nel processo decisionale.

Con riferimento alla RQ2, sempre dalla SLR che ha riportato, a seguito delle regole di selezione, un numero pari a n=64 lavori, sono stati individuati gli ambiti teorici caratterizzanti i lavori riscontrati in letteratura, successivamente posti in relazione al contesto e alle domande di ricerca. Dalla costruzione del *theoretical background*, è emerso un *theoretical framework* (riportato nel cap. 2) in cui le relazioni tra i vari ambiti teorici sono state spiegate e successivamente contestualizzate nel cap. 3 per misurare il grado di compatibilità e applicabilità nei progetti oggetto del *multiple case study*: AINOP e ARGO. I risultati della valutazione di compatibilità e applicabilità sono altamente positivi, come anche riscontrato dalle strutture ministeriali. Il *framework* teorico rappresenta una chiave di lettura esplicativa dei fenomeni sottostanti i progetti AINOP e ARGO. Le proprietà delle singole teorie costituenti il *theoretical framework* e la loro sommatoria (che va oltre la mera somma algebrica) costituisce una robusta e sostanziale base con cui tali progetti possono essere migliorati, a tutto vantaggio dei livelli di sicurezza del patrimonio infrastrutturale italiano e della qualità dei servizi offerti all'utenza del sistema viario nazionale.

Le principali implicazioni scientifiche del lavoro possono essere individuate nella sintesi tra teoria e pratica, ovvero tra l'utilità teorica del modello e la sua applicazione nell'ambito della fenomenica trattata. Il modello teorico proposto, infatti, ambisce a mitigare i rischi noti sia nell'ambito della raccolta dei *big data* (mediante utilizzo della *blockchain*) garantendo, così, la qualità dei dati e delle informazioni raccolte; sia nell'inquadramento e nella classificazione dei rischi propri del patrimonio infrastrutturale italiano. In tal senso, l'ambito teorico e pratico produce una conoscenza scientifica pienamente adeguata a risolvere criticità reali con cui mitigare rischi (da cui derivano vantaggi per la collettività, per le imprese, per le economie locali, regionali e nazionale). La relazione che insiste tra (qualità dei) *big data*, gestione della conoscenza, rischi e qualità dei servizi offerti nella gestione del patrimonio infrastrutturale italiano, produce effetti scientifici altamente impattanti sull'efficacia degli investimenti pubblici e privati nel miglioramento del PIL italiano. Il modello teorico proposto nel presente lavoro, che costituisce un suo punto di originalità, evidenzia tali implicazioni che si collocano tra la capacità scientifica di sistematizzare, in modo costruttivista, paradigmi e teorie e di sistematizzarli con l'ambizione di contribuire al

miglioramento dell'efficacia dei processi decisionali che si propongono di trovare soluzioni a problemi complessi.

I limiti del presente lavoro si traducono nella generalizzazione dei risultati della ricerca, strettamente e fisiologicamente connessi alla metodologia del *business case study* ovvero all'impiego del *multiple case study*. Tali generalizzazioni, infatti, “*non possono essere in alcun modo di tipo strettamente universale*” (Lazzini, 2007)²³⁴, ma “*numericamente universali*” (Popper, 1970; Perano e Cerrato, 2017, p. 492)²³⁵ e riferibili ad una “*classe finita di elementi specifici, limitata da una regione spazio-temporale*” (Pinelli, 2005 da Lazzini, 2007; Perano, Cerrato, 2017, p. 492).

Futuri sviluppi della ricerca potranno indirizzarsi verso l'applicazione del modello teorico ad ulteriori progetti nonché tendere a un miglioramento e ampliamento degli ambiti teorici del modello stesso attraverso la verifica della sua adattabilità rispetto ai profili sollecitati dagli *stakeholder* che interagiscono con il settore delle infrastrutture.

²³⁴ Lazzini, A., 2007, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica di economia aziendale: valenza e problematiche aperte*, Pisa University Press, Pisa.

²³⁵ Popper, K., 1970, *A world of propensities*, Thoemmes, Bristol, England; Perano, M., Cerrato, R., 2017, *Il bilancio sociale tra pianificazione strategica e co-creazione di valore. Il caso dell'Università di Salerno*; Giappichelli, Torino.

BIBLIOGRAFIA

Abbate, T., Vecco, M., Vermiglio, C., Zarone, V., Perano, M., 2022, Blockchain and art market: resistance or adoption?, *Consumption Markets & Culture*, 1-19.

Abdih, Y., Joutz, F., 2008, The Impact of Public Capital, Human Capital, and Knowledge on Aggregate Output, *IMF Working Paper*, No. WP/08/218, International Monetary Fund.

Agrawal, S., Singh, R.K., Murtaza, Q., 2015, A literature review and perspectives in reverse logistics, *Resources, Conservation and Recycling*, 97, 76-92.

Ajmal, M.M., Koskinen, K.U., 2008, Knowledge transfer in project-based organizations: an organizational culture perspective, *Project Management Journal*, 39(1), 7-15.

Akter, S., Wamba, S.F., Gunasekaran, A., Dubey, R., Childe, S.J., 2016a, How to improve firm performance using big data analytics capability and business strategy alignment?, *International Journal of Production Economics*, 182, 113–131.

Alam, M., Ferreira, J., Mumtaz, S., Jan, M. A., Rebelo, R., Fonseca, J. A., 2017, Smart cameras are making our beaches safer: A 5G-envisioned distributed architecture for safe, connected coastal areas, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 12(4), 50-59.

Alonso-Carrera, J., Freire -Serén, M., 2001, *Infraestructuras públicas y desarrollo económico de Galicia*, Universidade de Vigo, Vigo.

Andrews, K., Swanson J., 1995, Does Public Infrastructure Affect Regional Performance?, *Growth and change*, 26(2), 204-216.

ANFIA, 2021, *Dossier Trasporto merci su strada*, Ansa, Milano.

Antonopoulos, A. M., 2016, *The Internet of Money: A Collection of Talks*, vol. 2, Middletown: Merkle Bloom, Columbia.

April, K., Izadi, F. A., 2004, *Knowledge management praxis*, Juta and Company, Johannesburg.

Ardagna, C. A., Bellandi, V., Damiani, E., Bezzi, M., Hebert, C., 2021, Big Data Analytics-as-a-Service: Bridging the gap between security experts and data scientists, *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107215.

Ardigò, A., 1990, “L’ipercomplessità come problema epistemologico e di organizzazione sociale. L’approccio del sociologo dopo le cibernetiche e la sociosistemica”, in Ardigò A., Mazzoli, G., *L’ipercomplessità tra socio-sistemica e cibernetiche*, Franco Angeli, Milano, pagg. 18-19.

- Argote, L., Ingram, P., 2000, Knowledge transfer: a basis for competitive advantage in firms, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 82(1), 150-169.
- Aschauer, D., 1989, Is Public Expenditure Productive?, *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177-200.
- Asubonteng, P., McClearyKarl J., SwanJohn, E., 1996, SERVQUAL Revisited: A Critical Review of Service Quality, *Journal of Services Marketing*, 10(6), 62-81.
- Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., 2010, The internet of things: a survey, *Computer Networks*, 54(15), 2787-2805.
- Ayele, Y. Z., Aliyari, M., Griffiths, D., Droguett, E. L., 2020, Automatic crack segmentation for uav-assisted bridge inspection. *Energies*, 13(23), 6250.
- Aziz, Z., Riaz, Z., Arslan, M., 2017, Leveraging BIM and big data to deliver well maintained highways, *Facilities*, 35(13), 818-832.
- Babakus, E., Boller, G. W., 1992, An empirical assessment of the SERVQUAL scale, *Journal of Business Research*, 24(3), 253-268.
- Badii, C., Bellini, P., Difino, A., Nesi, P., 2019, Sii-mobility: An IoT/IoE architecture to enhance smart city mobility and transportation services, *Sensors (Switzerland)*, 19(1), 1.
- Bajo Rubio, O., Sosvilla Rivero, S., 1993, Does public capital affect private sector performance?: An analysis of the Spanish case, 1964–1988, *Economic Modelling*, 10(3), 179-185.
- Balmaseda, M., 1997, “Production Function Estimates of the Rate of Return on Public Capital”, *Working Paper CEMFI*, Banco de Espana, consultato su https://ideas.repec.org/p/cmf/wpaper/wp1997_9707.html
- Baltagi, B.D., Pinnoi, N., 1995, Public Capital Stock and State Productivity Growth: Further Evidence from an Error Components Model, *Empirical Economics*, 20(2), 351-359.
- Barfar, A., Padmanabhan, B., Hevner, A., 2021, Peak cubes in service operations: Bringing multidimensionality into decision support systems, *Decision Support Systems*, 140, 113442. Doi:10.1016/j.dss.2020.113442.
- Barile, S., 2011, *Management Sistemico Vitale. Decisioni e scelte in ambito complesso*, International Printing Srl, Avellino.
- Batina, R.G., 1998, On the Long Run Effects of Public Capital and Disaggregated Public Capital on Aggregate Output, *International Tax and Public Finance*, 5(3), 263-281.

- Beeharry, Y., Fowdur, T. P., Hurbungs, V., Bassoo, V., Ramnarain-Seetohul, V., 2017, Analysing transportation data with open source big data analytic tools, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, 5(2), 174-184.
- Bennington, L., Cummane, J., 1998, Measuring Service Quality: a hybrid methodology, *Total Quality Management*, 9(6), 395-405.
- Berechman, J., Ozmen, D., Ozbay, K., 2006, Empirical Analysis of Transportation Investment and Economic Development at State, County, and Municipality Levels, *Transportation*, 33(6), 537-551.
- Beretta S., 2004, *Valutazione dei rischi e controllo interno*, Egea, Milano.
- Bermudez-Edo, M., Barnaghi, P., Moessner, K., 2018, Analysing real world data streams with spatio-temporal correlations: Entropy vs. Pearson correlation, *Automation in Construction*, 88, 87-100.
- Berndt, E.R., Hansson, B., 1992, Measuring the Contribution of Public Infrastructure Capital in Sweden, *Scandinavian Journal of Economics*, 94(1992), 151-158.
- Bertini U., 1987, *Introduzione allo studio dei rischi nell'economia aziendale*, Giuffrè, Milano.
- Beyer, M.A., Laney, D., 2012, *The importance of 'big data': a definition*, Gartner, Stamford.
- Biehl D., 1991, "Il ruolo delle Infrastrutture nello sviluppo regionale in Economie locali in ambiente competitivo", in Boscacci, F., Gorla, G. (a cura di), *Economie locali in ambito competitivo*, Franco Angeli, Milano.
- Biehl, D., Bracalente, B., Di Palma, M., Mazziotta, C., 1990, *La diffusione territoriale delle infrastrutture: un'analisi per l'Europa e per l'Italia in Le infrastrutture a rete. Dotazioni e linee di intervento*, Sipi Editore, Roma.
- Binci, D., 2016, *Innovazione e cambiamento. Struttura, tecnologia, competenze e leadership tra innovazione tradizionale ed innovazione aperta*, FrancoAngeli, Milano.
- Biyik, C., Abareshi, A., Paz, A., Ruiz, R. A., Battarra, R., Rogers, C. D. F., Lizarraga, C., 2021, Smart mobility adoption: A review of the literature, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 146.
- Boarnet, M. G., 1996, "The Direct and Indirect Economic Effects of Transportation Infrastructure", Working Paper, Institute of Transportation Studies, University of California, consultato su <https://ideas.repec.org/p/cdl/uctcwp/qt1506r290.html>, Settembre 2021.
- Boarnet, M.G., 1998, Spillovers and the Locational Effects of Public Infrastructure, *Journal of Regional Science*, 38(3), 381-400.

- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., Alazab, M., 2020, Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review, *IEEE Access*, 8, 79764-79800.
- Bonaglia, F., La Ferrara, E., Marcellino, M., 2000, Public Capital and Economic Performance: Evidence from Italy, *Giornale degli economisti e annali di economia*, 60(2), 221-244.
- Booker, L.D., Bontis, N., Serenko, A., 2008, The relevance of knowledge management and intellectual Capital research, *Knowledge and Process Management*, 15(4), 235-246.
- Borghesi A., 1985, *La gestione dei rischi d'azienda*, Cedam, Padova.
- Boscá, J.E., Escriba, F.J., Murgui, M.J., 2000, The Effect of Public Infrastructure on the Private Productive Sector of Spanish Regions, *Journal of Regional Science*, 42(2), 301-326.
- Boyd, D., Crawford, K., 2012, Critical questions for big data: provocations for a cultural, technological, and scholarly phenomenon, *Information, Communication & Society*, 15(5), 662-679.
- Brachfield J. P., 2003, *Cómo vender a Crédito y Cobrar sin Contratiempos*”, Gestión 2000, Madrid.
- Bronzini, R., Piselli, P., 2009, Determinants of Long-Run Regional Productivity: The Role of R&D, Human Capital and Public Infrastructure, *Regional Science and Urban Economics*, 39(2), 187-199.
- Brunetti, G., 2003, La vulnerabilità dell'impresa: una riflessione secondo l'approccio aziendale, *Rivista Italiana di Ragioneria e di Economia Aziendale*, 103(3-4), 125-135.
- Bryland, A., Curry, A., 2001, Service improvements in public services using SERVQUAL, *Managing Service Quality: An International Journal*, 11(6), 389-401.
- Buhalis, D., 2015, “Working Definitions of Smartness and Smart Tourism Destination”, consultato su <http://buhalis.blogspot.co.uk/2014/12/working-definitions-of-smartness-and.html/>, Marzo 2020.
- Bures, T., Weyns, D., Schmerl, B., Tovar, E., Boden, E., Gabor, T., Gerostathopoulos, I., Gupta, P., Kang, E., Knauss, A., Patel, P., Rashid, A., Ruchkin, I., Sukkerd, R., Tsigkanos, C., 2017, Software Engineering for Smart Cyber-Physical Systems: Challenges and Promising Solutions, *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 42(2), 19-24.
- Buttle, F., 1996, SERVQUAL: review, critique, research agenda, *European Journal of Marketing*, 30(1), 8-32.

- Cadot, O., Röller, L., Stephan, A., 1999, “A Political Economy Model of Infrastructure Allocation: An Empirical Assessment”, Centre for Economic Policy Research (London) Discussion Paper No. 2336, December.
- Cadot, O., Roller, L.H., Stephan, A. 2006, Contribution To Productivity or Pork Barrel? The Two Faces of Infrastructure Investment, *Journal of Public Economics*, 90(6-7), 1133-1153.
- Caldas M. E., Carriòn R., Heras A. J., *Empresa e Iniciativa Emprendedora*, Editex, Madrid.
- Calderón, C., Servén, L., 2005, “The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution”, DEGIT Conference Papers, consultato su: <https://ssrn.com/abstract=625277>, Ottobre 2021.
- Canning, D., 1999, “Infrastructure’s Contribution to Aggregate Output”, Policy Research Working Paper, The Queen’s University, Belfast, consultabile su <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/1813-9450-2246>, Agosto 2021.
- Canning, D., Bennathan, E., 2000, “The Social Rate of Return on Infrastructure Investments”, consultabile su <https://ssrn.com/abstract=630763>, Ottobre 2021.
- Canning, D., Pedroni, P., 2004, The Effect of Infrastructure on Long-Run Economic Growth, *Harvard University*, 99(9), 1-30.
- Cantamessa M., Cobos E., Rafele C., 2007, *Il project management. Un approccio sistemico alla gestione dei progetti*, Isedi, Milano, pag. 309.
- Cantos, P., Gumbau, M., Maudos, J., 2005, Transport Infrastructures, Spillover Effects and Regional Growth: Evidence of the Spanish Case, *Transport Reviews*, 25(1), 25-50.
- Caprara U., 1952, Rendimenti e reddito d’impresa, in *Produttività*, n. 4; riferimento tratto da Pellicano M., Ciasullo M. V., (a cura di), 2010, *La visione strategica dell’impresa*, Giappichelli, Torino, pag. 361.
- Caprara, U., 1952, *Liquidità bancaria e controllo dell’inflazione*, Rivista Bancaria n. 10-11, Milano.
- Carreras Rajadell M., 2003, *Creació de Empreses*, Edicions UPC, Barcelona.
- Carter R.L, Doherty, N.A., 1984, *The development and scope of Risk Management*, Handbook of risk management, Kluwer Harrap Handbooks.
- Caspee R., Taerwe L., 2011, “Proposal of a semi-probabilistic framework for the evaluation of existing concrete structures”, *Proceedings of ESREL2011 Annual Conference*, 18-22 September, Troyes, France, pp. 1941-1948.

- Chang, C. L. H., Lin, T. C., 2015, The role of organizational culture in the knowledge management process, *Journal of Knowledge management*, 19(3), 433-455.
- Changchit, C., Holsapple, C.W., Viator, R.E., 2001, Transferring auditors' internal control evaluation knowledge to management, *Expert Systems with Applications*, 20(3), 275-291.
- Charlot, S., Schmitt, B., 1999, Public Infrastructure and Economic Growth in France's Regions, *39th Congress of the European Regional Science Association: "Regional Cohesion and Competitiveness in 21st Century Europe"*, August 23-27, 1999, Dublin, Ireland, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve.
- Chen, A.P., Chen, M.Y., 2005, A review of survey research in knowledge management performance measurement: 1995–2004, *Journal of Universal Knowledge Management*, 1, 4-12.
- Cheng, C.-F., Srivastava, G., Lin, J. C.-W., Lin, Y.-C., 2021, Fault-tolerance mechanisms for software-defined internet of vehicles, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(6), 3859-3868.
- Christopher M., Towill D.R., 2002, Developing market specific supply chain strategies, *International Journal of Logistic Management*, 13(1), 1-14.
- Ciambotti M., 2005, *Governo strategico d'impresa*, Giappichelli, Torino.
- Clarida, R., Findlay, R., 1994, After Maastricht: Public investment, economic integration and international capital mobility. *Economica*, 61(23), 319-329.
- Čolić, P., Jakovljević, M., Vidović, K., Šoštarić, M., 2022, Development of methodology for defining a pattern of drivers mobile phone usage while driving, *Sustainability*, 14(3), 1681.
- Constantiou, I.D., Kallinikos, J., 2015, New games, new rules: big data and the changing context of strategy, *Journal of Information Technology*, 30(1), 44–57.
- Corbetta, P., 1999, *Metodologia e tecniche della ricerca sociale*, Il Mulino, Milano.
- Corbetta, P., 2003, *Metodologia e tecnica della ricerca sociale*, Il Mulino, Bologna.
- Corsani G., 1939, *La gestione delle imprese mercantili e industriali*, Cedam, Padova.
- Coyle, K., 2006, Mass digitization of books, *Journal of Academic Librarianship*, 32(6), 641-645.
- Craighead, C. W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M. J., Handfield, R., 2007, The severity of supply chain disruptions: design characteristics and mitigation capabilities, *Decision Sciences*, 38(1), 11-13.

- Creel, J., Poilon, G., 2008, Is public capital productive in Europe?, *International Review of Applied Economics*, 22(6), 673-691.
- Creswell, J. W. 2007, *Qualitative Inquiry & Research Design: Choosing among Five Approaches*, Sage, Thousand Oaks, CA.
- Creswell, J. W., 2009, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Method Approaches* (3rd Ed.), SAGE Publications, Los Angeles.
- Cronin, Jr. J.J., Taylor, T.S., 1992, Measuring service quality: a re-examination and extension, *Journal of Marketing*, 56(3), 55-68.
- Crouhy ,M., Galai, D., Mark, R., 2006, *The Essential of Risk Management*, McGraw Hill, New York.
- Crowder, W.J., Himarios, D., 1997, Balanced Growth and Public Capital: An Empirical Analysis, *Applied Economics*, 29(8), 1045-1053.
- Cuzzocrea, A., 2015, Data warehousing and OLAP over big data: A survey of the state-of-the-art, open problems and future challenges, *International Journal of Business Process Integration and Management*, 7(4), 372-377.
- Da Silva Costa, J., Ellson, R.W., Martin, R.C., 1987, Public Capital, Regional Output and Development: Some Empirical Evidence, *Journal of Regional Science*, 27(3), 419-437.
- Dan, P., Sunesson, K., 2012, Knowledge transfer, knowledge sharing and knowledge barriers – three blurry terms in km, *Electronic Journal of Knowledge Management*, 10(1), 82-92.
- Darroch, J., McNaughton, R., 2002, Developing a measure of knowledge management, In Bontis, N., *World Congress on Intellectual Capital Readings*, Butterworth-Heinemann, Boston, MA.
- Dautov, R., Distefano, S., Bruneo, D., Longo, F., Merlino, G., Puliafito, A., 2021, Data agility through clustered edge computing and stream processing, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 33(7), 1.
- Davenport, T. H., P. Barth, R. Bean, 2012, How big data is different, *Sloan Management Review*, 54(1), 22-24.
- Davenport, T.H., De Long, D.W., Beers, M.C., 1998, Successful Knowledge Management Projects, *Sloan Management Review*, 39(2), 43–57.
- Davis, C.K., 2014, Beyond data and analysis, *Communications of the ACM*, 57(6), 39-41.

- De la Fuente, A., Vives, X., 1995, Infrastructure and Education as Instruments of Regional Policy: Evidence from Spain, *Regional Policy and Spain*, 10(20), 11-51.
- De Stefanis, S., Sena, V., 2005, Public Capital and Total Factor Productivity: New Evidence from the Italian Regions, 1970–98, *Regional Studies*, 39(5), 603-617.
- Deepa, N., Pham, Q. V., Nguyen, D. C., Bhattacharya, S., Prabadevi, B., Gadekallu, Praveen Kumar Reddy M., Fang F., Pathirana, P., 2022, A survey on blockchain for big data: approaches, opportunities, and future directions, *Future Generation Computer Systems*, 131, 209-226.
- Delgado, M.J., Alvarez, I., 2000, Public Productive Infrastructure and Economic Growth, 40th Congress of the European Regional Science Association: “European Monetary Union and Regional Policy”, August 29 - September 1, 2000, Barcelona.
- Delorme, C.D., Thompson, H.G., Warren, R.S., 1999, Public Infrastructure and Private Productivity: A Stochastic Frontier Approach, *Journal of Macroeconomics*, 21(3), 563-576.
- Demetriades, P.O., Mamuneas, T.P., 2000, Intertemporal Output and Employment Effects of Public Infrastructure Capital: Evidence from 12 OECD Countries, *Economic Journal*, 110(465), 687-712.
- Di Franco, G. (a cura di), 2005, *Esplorare, descrivere e sintetizzare i dati. Guida pratica all'analisi dei dati nella ricerca sociale*, Franco Angeli, Milano.
- Di Giacinto, V., Micucci, G., Montanaro, P., 2010, Dynamic Macroeconomic Effects of Public Capital: Evidence from Regional Italian Data, *Giornale degli economisti ed annali di economia*, 69(1), 29–66.
- Di Giacinto, V., Micucci, G., Montanaro, P., 2011, Coordinamento della spesa pubblica e spillover spaziali delle infrastrutture di trasporto: evidenze per l'Italia, in Balassone, F., Casadio, P (a cura di), *Le infrastrutture in Italia: dotazione, programmazione, realizzazione*, Atti di Convegno dal titolo “Le infrastrutture in Italia”, Perugia, 14-15 Ottobre 2010, Centro Stampa della Banca d'Italia, Banca d'Italia Eurosystem, pp. 21-56.
- Di Palma, M., Mazziotta, C., Rosa, G., 1998, Infrastrutture e sviluppo. Primi risultati: indicatori quantitativi a confronto (1987-95), *Quaderni sul Mezzogiorno e le politiche territoriali*, n. 4, Confindustria, Roma.
- Dijcks, J., 2013, *Oracle: Big data for the enterprise*, Oracle Published Group, Redwood Shores, CA.
- Dong, J., Meng, W., Liu, Y., Ti, J. 2021, A framework of pavement management system based on IoT and big data, *Advanced Engineering Informatics*, 47.

- Dowie, J., 1999, Against risk, *Risk Decision and Policy*, 4, 57.
- Drucker, P.F., 1993, The Rise of the Knowledge Society, *The Wilson Quarterly*, 17(2), 52–71.
- Duarte, A., Psomopoulos, F. E., Blanchet, C., Bonvin, A. M., Corpas, M., Franc, A., Jimenez, R.C., de Lucas, J.M., Nyrönen, T., Sipos, G., Suhr, S.B., 2015, Future opportunities and trends for e-infrastructures and life sciences: going beyond the grid to enable life science data analysis, *Frontiers in genetics*, 6,197.
- Duffy-Deno, K.T., Eberts, R.W., 1991, Public Infrastructure and Regional Economic Development: A Simultaneous Equations Approach, *Journal of Urban Economics*, 30(3), 329-343.
- Duffy, J., 2000, Knowledge management: to be or not to be?, *Information Management Journal*, 34(1), 64-67.
- Duggal, A. S., Singh, R., Gehlot, A., Gupta, L. R., Akram, S. V., Prakash, C., Singh S., Kumar, R., 2021, Infrastructure, mobility and safety 4.0: Modernization in road transportation. *Technology in Society*, 67, 101791.
- Duggall, G.V., Saltzman, C., Klein, L.R., 1999, Infrastructure and Productivity: A Nonlinear Approach, *Journal of Econometrics*, 92(1), 47-74.
- Earl, M., 2001, Knowledge Management Strategies: Toward a Taxonomy, *Journal of Management Information Systems*, 18(1), 215-233.
- Eberts, R.W., 1986, Estimating the Contribution of Urban Public Infrastructure to Regional Growth, Approach, *Journal of Urban Economics*, 30(3), 340-360.
- Egert, B., Kozluk, T.J., Sutherland, D., 2009, “Infrastructure and Growth: Empirical Evidence”, William Davidson Institute Working Paper No. 957, consultabile su https://ideas.repec.org/p/ces/ceswps/_2700.html.
- Eisner, R., 1991, Infrastructure and Regional Economic Performance: Comment, *New England Economic Review*, 74, 47-58.
- El Fazziki, A., Benslimane, D., Sadiq, A., Ouarzazi, J., Sadgal, M., 2017, An agent based traffic regulation system for the roadside air quality control, *IEEE Access*, 5, 13192-13201.
- Elkins, D., Handfield, R. B., Blackhurst, J., Craighead, C. W., 2005, 18 ways to guard against disruption, *Supply Chain Management Review*, 1(1), 46-53.
- Epetimehin, F.M., Ekundayo, O., 2011, Organisational knowledge management: survival strategy for Nigeria insurance industry, *Interdisciplinary Review of Economics and Management*, 1(2), 9-15.

- Erenburg, S.J., 1998, Productivity, Private and Public Capital, and Real Wage in the US, *Applied Economics Letters*, 5(8), 491-495.
- Es-Samaali, H., Outchakoucht, A., Leroy, J. P., 2017, A blockchain-based access control for big data. *International Journal of Computer Networks and Communications Security*, 5(7), 137.
- Estrin, D., Culler, D., Pister, K., Sukhatme, G., 2002, Connecting the physical world with pervasive networks, *IEEE Pervasive Computing*, 1(1), 59-69.
- Evans, P., Karras, G., 1994, Are Government Activities Productive? Evidence from A Panel of U.S. States, *Review of Economics and Statistics*, 76(1), 1-11.
- Everaert, G., 2003, Balanced Growth and Public Capital: an Empirical Analysis with I(2) Trends in Capital Stock Data, *Economic Modelling*, 29(8), 1045-1053.
- Everaert, G., Heylen, F., 2004, Public Capital and Long Term Labour Market Performance in Belgium, *Journal of Policy Modelling*, 26(1), 95-112.
- Fan, X., Huo, Y., 2020, Blockchain based dynamic spectrum access of non-real-time data in cyber-physical-social systems, *IEEE Access*, 8, 64486-64498.
- Faridoon, A., Imran, M., 2021, Big data storage tools using nosql databases and their applications in various domains: a systematic review, *Computing and Informatics*, 40(3), 489-521.
- Fernald, J., 1999, Roads to Prosperity? Assessing the Link between Public Capital and Productivity?, *The American Economic Review*, 89(3), 619-638.
- Ferrer Paccess F. M., 1974, *I sistemi d'impresa*, Il Mulino, Bologna.
- Ferrero G., 1987, *Impresa e Management*, Giuffrè, Milano.
- Finn, M., 1993, I's All Government Capital Productive?, *Federal Reserve Bank of Richmond Economic Quarterly*, 79(4), 53-80.
- Fisch, C., Block, J., 2018, Six tips for your (systematic) literature review in business and management research, *Management Quarterly*, 68(2), 103-106.
- Fisher, D., DeLine, R., Czerwinski, M. Drucker, S., 2012, Interactions with big data analytics, *Interactions*, 19(3), 50-59.
- Flah, M., Nunez, I., Ben Chaabene, W., Nehdi, M. L., 2021, Machine learning algorithms in civil structural health monitoring: A systematic review, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(4), 2621-2643.

- Flores de Frutos, R., Garcia-Diez, M., Perez Amal, T., 1998, Public Capital and Economic Growth: an Analysis of the Spanish Economy, *Applied Economics*, 30(8), 985-994.
- Ftaimi, S., Mazri, T., 2020, Handling priority data in smart transportation system by using support vector machine algorithm, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 5(6), 1422-1427.
- Fu Y., J. Zhu, 2021, Trusted data infrastructure for smart cities: a blockchain perspective, *Building Research & Information*, 49(1), 21-37.
- Galli, G., 2021, Il trasporto merci alla prova del Covid-19, *Il Giornale della logistica*, consultabile su http://www.trt.it/wp/wp-content/uploads/2021/09/GDL06@060_061-TRT.pdf.
- Gandomi, A., Haider, M., 2015, Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics, *International journal of information management*, 35(2), 37-144.
- Garcia-Mila, T., McGuire, T.J., 1992, The Contribution of Publicly Provided Inputs to States' Economies, *Regional Science and Urban Economics*, 22(2), 229-241.
- Garcia-Mila, T., McGuire, T.J., Porter R.H., 1996, The Effect of Public Capital in State-Level Production Functions Reconsidered, *Review of Economics and Statistics*, 78(1), 177-180.
- Garg, S., Singh, A., Kaur, K., Aujla, G. S., Batra, S., Kumar, N., Obaidat, M. S., 2019, Edge computing-based security framework for big data analytics in VANETs, *IEEE Network*, 33(2), 72-81.
- Gaudenzi, B., 2006, Nuovi approcci di gestione dei rischi d'impresa: verso l'integrazione tra imprenditore e management, *Sinergie Italian Journal of Management*, (71), 221-243.
- George, G., Osinga, C.E., Lavie, D., Scott, B., 2016, Big data and data science methods for management research, *Academy of Management Journal*, 59(5), 1493-1507.
- Giannessi E., 1960, Le aziende di produzione originari. Le aziende agricole, vol I, Corsi, Pisa.
- Gil, S. M., Hudson, S., Quintana, T. A., 2006, The influence of service recovery and loyalty on perceived service quality: a study of hotel customers in Spain, *Journal of hospitality & leisure marketing*, 14(2), 47-68.
- Gobbi U., 1898, *L'assicurazione in generale*, INA, Hoepli, Milano.
- Golinelli, G. M., 2008, Presentazione, in Proietti L., *Il rischio nel governo delle organizzazioni imprenditoriali tra calcolo e arte*, Aracne, Roma.

- González, M.C., Hidalgo, C.A., Barabási, A.L., 2008, Understanding individual human mobility patterns, *nature*, 453(7196), 779–782.
- Gowan, M., Seymour, J., Ibarreche, S., Lackey, C., 2001, Service quality in a public agency: same expectations but different perceptions by employees, managers, and customers, *Journal of Quality Management*, 6(2), 275-291.
- Grant, K.A., Grant, C.T., 2008, Developing a Model of Next Generation Knowledge Management, *Issues in Informing Science and Information Technology*, 5(2), 571–590.
- Green M. R., 1971, *Risk aversion, insurance and future*, Indiana University, Bloomington, Indiana.
- Green M. R., Trieschmann J. S., 1981, *Risk and insurance*, South Western Publishing Co., Cincinnati.
- Groff, T., Jones, T., 2012, *Introduction to knowledge management*, Routledge, Washington.
- Gronroos, C., 1983, *Strategic Management and Marketing in the Service Sector*, Marketing Science Institute, Boston.
- Grönroos, C., 1995, *Marketing – Gestão e Serviços: A competição por serviços na hora da verdade*, Tradução Cristina Bazan, Campus, Rio de Janeiro.
- Groote, P., Jacobs, J., Sturm, J.-E., 1999, Output Effects of Infrastructure Investment in the Netherlands, 1853-1913, *Journal of Macroeconomics*, 21(2), 355-380.
- Gu, T., Zhang, P., Zhang, X., 2021, Spatio-temporal evolution characteristics and driving mechanism of the new infrastructure construction development potential in china, *Chinese Geographical Science*, 31(4), 646-658.
- Gu, Y., Saad, W., Bennis, M., Debbah, M., Han, Z., 2015, Matching theory for future wireless networks: fundamentals and applications, *IEEE Communications Magazine*, 53(5), 52-59.
- Guo, Y., Liang, C., 2016, Blockchain application and outlook in the banking industry. *Financial innovation*, 2(1), 1-12.
- Habibzadeh, H., Boggio-Dandry, A., Qin, Z., Soyata, T., Kantarci, B., Mouftah, H. T., 2018, Soft sensing in smart cities: Handling 3Vs using recommender systems, machine intelligence, and data analytics, *IEEE Communications Magazine*, 56(2), 78-86.
- Hakin, C., 2000, *Research design for social and economic research*, Routledge, New York.

- Han, S., Wang, X., Zhang, J. J., Cao, D., Wang, F.-Y., 2019, Parallel vehicular networks: A CPSS-based approach via multimodal big data in IoV, *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1), 1079-1089.
- Hancock, B., Ockleford, E., Windridge, K., 2009, *An Introduction to Qualitative Research*, National Institute for Health Research (NIHR), Research Development Society for East Midlands Yorkshire and Humber, University of Nottingham, Nottingham.
- Hansen, N. M., 1965, The structure and determinants of local public investment expenditures, *Review of economics and statistics*, 47(2), 150-162.
- Haradhan, M., 2018, Qualitative Research Methodology in Social Sciences and Related Subjects, *Journal of Economic Development, Environment and People*, 7(1), 23-48.
- Harland, C., Brenchley R., Walker H., 2003, Risk in supply networks, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 9(1), 51-62.
- Hartzog, W., Selinger, E., 2013, Big Data in Small Hands, *Stanford Law Review Online*, 66(81), 81-88.
- Hashiguchi, N., Tohno, M., 2015, Realization of safe driving environment, *Fujitsu Scientific and Technical Journal*, 51(4), 36-42.
- Hassani, Hossein, Xu Huang, E.S. Silva, 2019, "Big data and blockchain", Fusing big data, blockchain and cryptocurrency. Palgrave Pivot, Cham, 7-48.
- Haughwout, A.F., 2002, Public Infrastructure Investment, Productivity, and Welfare in Fixed Geographic Areas, *Journal of Public Economics*, 83(3), 405-428.
- Hislop, D., Bosua, R., Helms, R., 2018, *Knowledge Management in Organisations: A Critical Introduction*, 4th Edition., Oxford University Press, New York.
- Holtz-Eakin, D., 1994, Public Sector Capital and the Productivity Puzzle, *Review of Economics and Statistics*, 76(1), 1-22.
- Holtz-Eakin, D., Shwartz, A.E., 1995, Infrastructure in a Structural Model of Economic Growth, *Regional Science and Urban Economics*, 25(2), 131-151.
- Holtz-Eakin, D., Shwartz, A.E., 1995, Spatial Productivity Spillovers from Public Infrastructure: Evidence from State Highways, *International Tax and Public Finance*, 2(3), 459-468.
- Holtz-Eakin, D., Shwartz, A.E., 1996, Scale Economies, Returns to Variety, and the Productivity of Public Infrastructure, *International Economic Integration and Domestic Performance*, 73-91.

- Horwitch, M., Armacost, R., 2002, Helping knowledge management be all it can be, *Journal of Business Strategy*, 23(3), 26-31.
- Hoseinzadeh, N., Liu, Y., Han, L. D., Brakewood, C., Mohammadnazar, A., 2020, Quality of location-based crowdsourced speed data on surface streets: A case study of waze and bluetooth speed data in sevierville, TN, *Computers, Environment and Urban Systems*, 83, 101518.
- Huang, T., Wang, S., Sharma, A., 2020, Highway crash detection and risk estimation using deep learning, *Accident Analysis and Prevention*, 135, 105392.
- Hubert, S.O., 1996, Tacit knowledge: the key to the strategic aliment of intellectual capital, *Strategy and Leadership*, 24(2), 10-16.
- Huff, A.S., 2009, *Designing research for publication*, Sage, London.
- Huh, J.H., Otgonchimeg, S., Seo, K., 2016, Advanced metering infrastructure design and test bed experiment using intelligent agents: focusing on the PLC network base technology for Smart Grid system, *The Journal of Supercomputing*, 72, 1862–1877. Doi:10.1007/s11227-016-1672-4.
- Hult G.T., Ketchen M:D., Slater S.F., 2004, Information processing, knowledge development, and strategic supply chain performance, *Academy of Management Journal*, 47(2), 241-253.
- Hulten, C.R., Schwab, R.M., 1991, Public Capital Formation and the Growth of Regional Manufacturing Industries, *National Tax Journal*, 44(4), 121-134.
- Husek, N., 2018, Telematics data for official statistics: An experience with big data. *Statistical Journal of the IAOS*, 34(4), 499-504.
- Hussain, M., Alam, M. S., Beg, M. M., 2018, Fog Computing for Next Generation Transport-a Battery Swapping System Case Study, *Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy*, 3(1), 1-11.
- Intel IT Center, 2012, *Big Data Analytics: Intel's IT Manager Survey on How Organizations Are Using Big Data*, Intel Corporation, Santa Clara, CA.
- Iqbal, R., Butt, T. A., Shafique, M. O., Talib, M. W. A., Umer, T., 2018, Context-aware data-driven intelligent framework for fog infrastructures in internet of vehicles. *IEEE Access*, 6, 58182-58194.
- Jacob, E., 1987, Qualitative research traditions: A review, *Review of Educational Research*, 57(1), 1-50.

Jacob, E., 1989, Qualitative research: A defense of traditions, in *Review of Educational Research*, 59(2), 229-235.

Jalali, R., Koochi-Fayegh, S., El-Khatib, K., Hoornweg, D., Li, H., 2017, Investigating the potential of ridesharing to reduce vehicle emissions, *Urban Planning*, 2(2), 26-40.

Jameel, F., Javaid, U., Khan, W. U., Aman, M. N., Pervaiz, H., Jäntti, R., 2020, Reinforcement learning in blockchain-enabled IIoT networks: A survey of recent advances and open challenges, *Sustainability*, 12(12), 5161.

Jeong, S., Hou, R., Lynch, J. P., Sohn, H., Law, K. H., 2019, A scalable cloud-based cyberinfrastructure platform for bridge monitoring, *Structure and Infrastructure Engineering*, 15(1), 82-102.

Johannsen, C.G., 2000, Total quality management in a knowledge management perspective, *Journal of Documentation*, 56(1), 42-54.

Jüttner, U., 2005, Supply chain risk management: Understanding the business requirements from a practitioner perspective, *International Journal of Logistics Management*, 16(1), 121-141.

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Gawankar, S. A., 2020, Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications, *International Journal of Production Economics*, 219, 179-194.

Kamps, C., 2005, *Is There a Lack of Public Capital in the European Union?*, Kiel Institute for World Economics, 24100 Kiel, Germany.

Kamps, C., 2005, The Dynamic Effects of Public Capital: VAR Evidence for 22 OECD Countries, *International Tax and Public Finance*, 12(4), 533-558.

Karafiloski, E., Mishev, A., 2017, Blockchain solutions for big data challenges: A literature review. In *IEEE EUROCON 2017-17th International Conference on Smart Technologies*, 763-768.

Kataoka, C., 2005, Effect of Public Investment on the Regional Economies in Postwar Japan, *Review of Urban and Regional Development Studies*, 17(2), 115-139

Kato, K., Miyazaki, H., Soma, T., Takagi, M., 2015, Big data analytics in the cloud - system invariant analysis technology pierces the anomaly, *NEC Technical Journal*, 9(2), 80-84.

Kavanagh, C., 1997, Public Capital and Private Sector Productivity in Ireland, *Journal of Economic Studies*, 24(1-2), 72-94.

Kawaguchi, D., Ohtake, F., Tamada, K., 2005, "The Productivity of Public Capital: Evidence from the 1994 Electoral Reform of Japan", Discussion Paper, The Institute of

Social and Economic Research Osaka University, February. consultabile su <https://www.econstor.eu/handle/10419/92840>.

Kelejian, H.H., Robinson, D.P, 1997, Infrastructure Productivity Estimation and its Underlying Economic Specifications: A Sensitivity Analysis, *Papers in Regional Science*, 76(1), 115-131.

Kemmerling, A. Stephan, A., 2002, The Contribution of Local Public Infrastructure to Private Productivity and Its Political Economy: Evidence Form a Panel of Large German Cities, *Public Choice*, 113(3), 403-424.

Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., Bani-Hani, A., 2021, Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends, *Peer-to-peer Networking and Applications*, 14(5), 2901-2925.

Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., Ullah, S., Frecknall-Hughes, J., Kim, J., 2020, Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how?, *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120254.

Knight F., 1960, *Rischio incertezza e profitto*, La Nuova Italia, Firenze.

Koenig, M.E., 2012, What is KM? Knowledge management explained, *KM World*, 4.

Koot, M., Mes, M. R., Iacob, M. E., 2021, A systematic literature review of supply chain decision making supported by the Internet of Things and Big Data Analytics, *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107076.

Kotler, P., 1997, Managing service businesses and product support services. In *Marketing Management. Analysis, Planning, Implementation, and Control*, 9th edn. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 465-492.

La Ferrara, E., Marcellino, M., 2000, "TFP, Costs, and Public Infrastructure: An Equivocal Relationship", *IGIER Working Paper*, Bocconi University and IGIER, October.

Laney, D., 2001, 3-D data management:controlling data volume, velocity and variety, *META Group Research Note*, 6(70), 1-4.

Lasaponara, R., Abate, N., Masini, N., 2022, On the use of google earth engine and sentinel data to detect 'lost' sections of ancient roads. the case of via appia., *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 19, 1-5.

Layton, P., 2020, Artificial intelligence, big data and autonomous systems along the belt and road: Towards private security companies with chinese characteristics?, *Small Wars and Insurgencies*, 31(4), 874-897.

Lazzini, A., 2007, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica di economia aziendale: valenza e problematiche aperte*, Pisa University Press, Pisa

Lazzini, A., 2007, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica di economia aziendale: valenza e problematiche aperte*, Pisa University Press, Pisa.

Le, M.V., Suruga, T., 2005, Foreign Direct Investment, Public Expenditure and Economic Growth: The Empirical Evidence for the Period 1970-2001, *Applied Economics Letters*, 12(1), 45-49.

Lehtinen, J. R., 1983, *Customer Oriented Service System*, Service Management Institute, Working Paper, Helsinki, Finland.

Leitner F., 1915, *Die unternehmensrisiken*, Berlino.

Li, Z., Yang, C., Liu, K., Hu, F., Jin, B., 2016, Automatic scaling hadoop in the cloud for efficient process of big geospatial data, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(10), 173.

Lighthart, J.E., 2002, Public Capital, and Output Growth in Portugal: An Empirical Analysis, *European Review of Economics and Finance*, 1(1), 1-33.

Lincoln, Y. S., Guba, E. G., 1986, *Naturalistic inquiry*, Sage, Beverly Hills, CA.

Liu, C. H., Wang, J. S., Lin, C. W., 2017, The concepts of big data applied in personal knowledge management, *Journal of Knowledge Management*. 21(1), 213-230.

Lohr, S., 2012, *The age of big data*. New York Times.

Louhghalam, A., Akbarian, M., & Ulm, F.-J., 2017, Carbon management of infrastructure performance: Integrated big data analytics and pavement-vehicle-interactions, *Journal of Cleaner Production*, 142, 956-964.

Lynde, C., Richmond, J., 1992, Public Capital and Long Run Costs in UK Manufacturing, *Economic Journal*, 103(419), 880-893.

Lynde, C., Richmond, J., 1992, The Role of Public Capital in Production, *Review of Economics and Statistics*, 74(1), 37-44.

Machils. G. E, Rosa. E., A. Desired, 1996, Risk: broadening the social amplification of risk framework, *Risk Analysis*, 10(1), 161-168.

Mamatzakis, E.C., 1999, Testing for the Long Run Relation-Ship between Infrastructure and Private Capital Productivity A Time Series Analysis for the Greek Industry, *Applied Economics Letters*, 6(4), 243-246.

- Manovich, L., 2012, Trending: the promises and the challenges of big social data, *Debates in the digital humanities*, 2(1), 460-475.
- Marino, C. A., & Marufuzzaman, M., 2020, A microgrid energy management system based on chance-constrained stochastic optimization and big data analytics. *Computers and Industrial Engineering*, 143, 106392.
- Marradi, A., 1996, Metodo come arte, *Quaderni di Sociologia*, Vol. XL(10), 71-92.
- Marrocu, E., Paci, R., 2006, The Effects of Public Capital on the Productivity of the Italian Regions, *Applied Economics*, 42(8), 989-1002.
- Marselli, R., 1991, La metodologia VAR e la procedura «dal generale al particolare»: una rassegna di alcuni metodi per la specificazione dei modelli econometrici, *Giornale degli Economisti e Annali di Economia*, nuova serie, Anno 50(5-6), 237-267.
- Mas, M., Maudos, J., Perez, F., Uriel, E., 1996, Infrastructure and Productivity in the Spanish Regions, *Regional Studies*, 30(7), 641-649.
- Mason-Jones R., Naylor, Towill D.R., 2000, Matching your supply chain to the marketplace, *International Journal of Production Research*, 38(17), 4061-4070.
- Mayer-Schönberger, V., Cukier, K., 2013, Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, *Work and Think*, Houghton Mifflin Harcourt, London.
- McAfee, A., Brynjolfsson, E., Davenport, T.H., Patil, D. Barton, D., 2012, Big data: the management revolution, *Harvard Business Review*, 90(10), 60-68.
- McMillin, W.D., Smyth, D.J., 1994, A Multivariate Time Series Analysis of the United States Aggregate Production Function, *Empirical Economics*, 19(4), 659-673.
- Memoli, S., *Strategie e strumenti della ricerca sociale*, FrancoAngeli, Milano.
- Mending, J., Weber, I., Aalst, W. V. D., Brocke, J. V., Cabanillas, C., Daniel, F., Dustdar, S., 2018, Blockchains for business process management-challenges and opportunities, *ACM Transactions on Management Information Systems*, 9(1), 1-16.
- Mera, K., 1973, Regional Production Functions and Social Overhead Capital: An Analysis of the Japanese Case, *Regional and Urban Economics*, 3(2), 157-185.
- Meredith, J., 1993, Theory building through conceptual methods, *International Journal of Operations & Production Management*, 13(5), 3-11.
- Merriman, D., 1990, Public Capital and Regional Output: Another Look at Some Japanese and American Data, *Regional Science and Urban Economics*, 20(4), 437-458.

- Metaxiotis, K., Ergazakis, K., Psarras, J., 2005, Exploring the world of knowledge management: agreements and disagreements in the academic/practitioner community, *Journal of Knowledge Management*, 9(2), 6–18.
- Milusheva, S., Marty, R., Bedoya, G., Williams, S., Resor, E., Legovini, A., 2021, Applying machine learning and geolocation techniques to social media data (twitter) to develop a resource for urban planning, *PloS One*, 16(2).
- Mittnik, S., Neumann, T., 2001, Dynamic Effects of Public Investment: Vector Autoregressive Evidence from Six Industrialized Countries, *Empirical Economics*, 26(2), 429-446.
- Moreno, R., López-Bazo, E., Artís, M., 2003, On the Effectiveness of Private and Public Capital, *Applied Economics*, 35(6), 727-740.
- Morrison, C.J., Schwartz, E., 1996, State Infrastructure and Productive Performance, *American Economic Review*, 86(5).
- Munnell, A. H. 1993, *An assessment of trends and economic impacts of infrastructure investment*, OECD Infrastructure Policies for the 1990s, OECD, Paris.
- Munnell, A.H., 1990a, Why Has Productivity Growth Declined? Productivity and Public Investment, *Federal Reserve Bank of Boston*, Febbraio, Boston.
- Munnell, A.H., 1990b, How Does Public Infrastructure Affect Regional Economic Performance?, *Federal Reserve Bank of Boston*, Settembre 1990, Boston, 11-33.
- Naik, B., Mehta, A., Yagnik, H., Shah, M., 2021, The impacts of artificial intelligence techniques in augmentation of cybersecurity: a comprehensive review, *Complex & Intelligent Systems*, 1-18.
- Nallaperuma, D., Nawaratne, R., Bandaragoda, T., Adikari, A., Nguyen, S., Kempitiya, T., De Silva D., Alahakoon D., Pothuhera D., 2019, Online incremental machine learning platform for big data-driven smart traffic management, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(12), 4679-4690.
- Narasimhan, R., Talluri S., 2009, Perspectives on risk management in supply chains, *Journal of Operations Management*, 27(2), 114-118.
- Nazmi, N., Ramirez, M.D., 1997, Public and Private Investment and Economic Growth in Mexico, *Contemporary Economic Policy*, 15(1), 65-75.
- Newell, S., Tansley, C., Huang, J., 2004, Social capital and knowledge integration in an ERP project team: the importance of bridging and bonding, *British Journal of Management*, 15(1), 43-57.

- Nijkamp, P., 1986, Infrastructure and Regional Development: A Multidimensional Policy Analysis, *Empirical Economics*, 11(1), 1-21.
- Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., Schiereck, D., 2017, Blockchain, *Business & Information Systems Engineering*, 59(3), 183-187.
- Nokes S., Kelly S., 2008, *Il project management Tecniche e processi*, FT Prentice Hall Financial Times, Pearson Paravia Bruno Mondadori SpA., Milano.
- Nonaka, I., 1994, A dynamic theory of organizational knowledge creation, *Organization Science*, 5(1), 14-37.
- Nourzad, F., 1998, Infrastructure Capital and Private Sector Productivity: A Dynamic Analysis, *Quarterly Journal of Business and Economics*, 37(1), 13-25.
- Nourzad, F., 2000, The productivity effect of government capital in developing and industrialized countries, *Applied Economics*, 32(9), 1181-1187.
- Oracle, 2012, *Big data for the enterprise*, Oracle Published Group, Redwood Shores, CA.
- Orefice, M., 2018, *I Big Data e gli effetti su privacy, trasparenza e iniziativa economica*, Aracne, Roma.
- Osservatorio MIMS (Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile), 2021, Report sulle tendenze di mobilità durante l'emergenza sanitaria, consultabile su: <https://www.mit.gov.it/nfsmgov/files/media/notizia/2021-11/Report%20Osservatorio%20TPL.pdf>.
- Otto, G.D., Voss, G.M., 1996, Public Capital and Private Production in Australia, *Southern Economic Journal*, 62(3). 723-738.
- Paci, R., Saggi, S., 2002, *Capitale pubblico e produttività nelle regioni italiane*, FrancoAngeli, Milano.
- Parasuraman, A., 1987, Customer-Oriented Corporate Cultures are Crucial to Services Marketing Success, *The Journal of Services Marketing*, 1(1), 39-46.
- Parasuraman, A., Berry, L. L., Zeithaml, V. A., 1991, Understanding customer expectations of service, *Sloan management review*, 32(3), 39-48.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., Berry, L. L., 1985, A conceptual model of service quality and its implications for future research, *Journal of Marketing*, 49(4), 41-50.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V., Berry, L., 1988, SERVQUAL: a multiple-item scale for measuring customer perceptions of service quality, *Journal of Retailing*, 9(3), 160-162.
- Pariser, E., 2011, *The Filter Bubble: What the Internet Is Hiding From You*, Penguin, UK.

- Park, S., Jayaraman, S., 2017, The wearables revolution and big data: The textile lineage, *Journal of the Textile Institute*, 108(4), 605-614.
- Pauleen, D. J., Gorman, G. E., 2011, *Personal knowledge management: Individual, organizational and social perspectives*, Gower Publishing, Aldershot, Hampshire, United Kingdom.
- Pearson, T., Wegener, R., 2013, *Big Data: The Organizational Challenge*, Bain & Company, Boston.
- Pellicano, M., Perano, M., Esposito De Falco, A., 2007, “Analysis of the relational capital devaluation risks within the organization”, in Conference Proceedings of *10th International Conference Society for Global Business & Economic Development (SGBED)*. Kyoto (Japan) 8 – 11 agosto, pagg. 1699-1711.
- Perafan-Villota, J. C., Mondragon, O. H., Mayor-Toro, W. M., 2021, Fast and precise: Parallel processing of vehicle traffic videos using big data analytics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1-10.
- Perano, M., Cerrato, R., 2017, *Il bilancio sociale tra pianificazione strategica e co-creazione di valore*, Giappichelli, Torino.
- Percoco, M., 2004, Infrastructure and Economic Efficiency in Italian Regions, *Networks and Spatial Economics*, 4(4), 361-378.
- Pereira, A. M., Roca-Sagales, O. 2001, Infrastructures and private sector performance in Spain, *Journal of Policy Modeling*, 23(4), 371-384.
- Pereira, A. M., Roca-Sagales, O., 2003, Spillover Effects of Public Capital Formation: Evidence from the Spanish Regions, *Journal of Urban Economics*, 53(2), 238-256.
- Pereira, A.M., 2001, Public Investment and Private Sector Performance - International Evidence, *Public Finance & Management*, 12 (1), 3-25
- Pereira, A.M., Andraz, J.M., 2001, On the Impact of Public Investment on the Performance of U.S. Industries, *Public Finance Review*, 31(1), 66-90.
- Pereira, A.M., Andraz, J.M., 2003, Public Investment in Transportation Infrastructure and Economic Performance in Portugal, *Review of Development Economics*, 9(2), 177-196.
- Pereira, A.M., Andraz, J.M., 2004, Public Highway Spending and State Spillovers in the USA, *Applied Economics Letters*, 11(12), 785-788
- Pereira, A.M., Flores de Frutos, R., 1999, Public Capital Accumulation and Private Sector Performance, *Journal of Urban Economics*, 46(2), 300-322.

Philip, G., Hazlett, S. A., 1997, The measurement of service quality: a new P-C-P attributes model, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 14(3), 260-286.

Picci, L., 1999, Productivity and Infrastructure in the Italian Regions, *Giornale degli economisti ed annali di economia*, 58(3-4), 329-353.

Pinelli, S., 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica: progetto e metodi*, Armando, Roma.

Pinnelli S. (a cura di), 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica*, Armando Editore, Roma; ed. orig. Yin R. K., 2003, *Case Study Research. Design and Methods. Third Edition*, Sage Publications Inc., California, U.S..

Pirkkalainen, H., Pawlowski, J., 2013, Global social knowledge management: from barriers to the selection of social tools, *Electronic Journal of Knowledge Management*, 11(1), 3-17.

Popper, K., 1970, *A world of propensities*, Thoemmes, Bristol, England.

Powell, J., 2012, At scale' author name matching with Hadoop/MapReduce, *Library Hi Tech News*, 29(4), 6-12.

Prakash, G., Yuan, X. X., Hazra, B., Mizutani, D., 2021, Toward a big data-based approach: A review on degradation models for prognosis of critical infrastructure, *Journal of Nondestructive Evaluation, Diagnostics and Prognostics of Engineering Systems*, 4(2), 1-21

Prescott, A., 2013, Bibliographic records as humanities big data, *In 2013 IEEE International Conference on Big Data*, Silicon Valley, CA, USA 6-9 Oct, 55-58.

Pricewaterhouse e Coopers, (a cura di), *La gestione del rischio aziendale. ERM – Enterprise Risk Management: un modello di riferimento e alcune tecniche applicative*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Proietti, L., 2008, Rischio e conoscenza nel governo dell'impresa. Una analisi del «rischio di modello» nel Gruppo Alenia Aeronautica, *Sinergie Italian Journal of Management*, 76, 191-215.

Rabah, K., 2018, Convergence of AI, IoT, big data and blockchain: a review, *The lake institute Journal*, 1(1), 1-18.

Rabieinejad, E., Mohammadi, S., Yadegari, M., 2021, "Provision of a Recommender Model for Blockchain-Based IoT with Deep Reinforcement Learning", *Proceedings of 5th International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, IEEE, DOI: 10.1109/IoT52625.2021.9469708.

Ram, R., Ramsey, D.D., 1989, Government Capital and Private Output in the United States: Additional Evidence, *Economics Letters*, 30(3), 223-226.

- Ramirez, M.D., 1998, Does Public Investment Enhance Productivity Growth in Mexico? A Cointegration Analysis, *Eastern Economic Journal*, 24(1), 63-82.
- Ratner, J.B., 1983, Government Capital and the Production Function for US Private Output, *Economics Letters*, 13(2-3), 213-217.
- Rauchs, M., Glidden, A., Gordon, B., Pieters, G., Recanatini, M., Rostand, F., Vagueur, K., Zhang, B., 2018, *Distributed Ledger Technology Systems: A conceptual framework*, Cambridge Centre for Alternative Finance Report: Cambridge University Judge Business School.
- Redmond, W., 2012, The big bang: How the big data explosion is changing the world, *Microsoft News Center*, Washington.
- Renn, O., 1998, The role of risk perception for risk management, *Reliability Engineering and System safety*, 59(1), 49-62.
- Resor, E., Legovini, A., Milusheva, S., Marty, R., Bedoya, G., Williams, S., 2021, Applying machine learning and geolocation techniques to social media data (twitter) to develop a resource for urban planning, *PloS One*, 16(2).
- Ricolfi, L., 1997, *La ricerca qualitativa*, Carocci, Roma.
- Risaliti G., 2008, *Gli strumenti finanziari derivati nell'economia delle aziende. Risk Management, aspetti operativi e principi contabili internazionali*, Collana di studi economico-aziendali E. Giannessi, Giuffrè, Milano.
- Robinson, S., 1999, Measuring service quality: current thinking and future requirements, *Marketing Intelligence & Planning*, 17(1), 21-32.
- Robledo, M. A., 2001, Measuring and managing service quality; integrating customer expectations, *Managing Service Quality*, 11(1), 22-31.
- Rosa, E.A., A metatheoretical foundations for post normal risk, *Journal of risk research*, 1(1), 15-44.
- Rouland, Q., Hamid, B., Jaskolka, J., 2020, Formal specification and verification of reusable communication models for distributed systems architecture. *Future Generation Computer Systems*, 108, 178-197.
- Rowat, C. 2003, LRN supply-chain risk and vulnerability workshop, *Logistics & Transports Focus*, 5(2), 68-69
- Rowley, J., 2007, The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy, *Journal of Information Science*, 33(2), 163-180.

- Rubinstein, I., 2013, Big Data: The End of Privacy or a New Beginning?, *International Data Privacy Law*, 3(2), 74-87.
- Russom, P., Big data analytics, *DWI best practices report, fourth quarter*, 19(4), 1-34.
- Sadiq, A., El Fazziki, A., Ouarzazi, J., Sadgal, M., 2016, Towards an agent based traffic regulation and recommendation system for the on-road air quality control, *SpringerPlus*, 5(1), 1-19.
- Sahil, Sood, S. K., 2021 Smart vehicular traffic management: An edge cloud centric IoT based framework, *Internet of Things*, 14, 00140.
- Sandeep, V., Honagond, P. V., Pujari, P. S., Kim, S.-C., Salkuti, S. R., 2020, A comprehensive study on smart cities: Recent developments, challenges and opportunities, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(2), 575-582.
- Saraceno P., 1967, *La produzione industriale*, Libreria Universitaria Editrice, Venezia.
- Sasaki, Y., 2014, Systems Intelligence in Knowledge Management Implementation: A Momentum of the SECI Model, *Proceedings of the 15th International Symposium on Knowledge and Systems Science*, Japan, 69–74.
- Sasso, L., Bagnasco, A., Ghirotto, L., 2015, *La ricerca qualitativa*, Edra S.p.A., Milano.
- Schroeck, M., Shockley, R., Smart, J., Romero-Morales, D., Tufano, P., 2012, Analytics: The real-world use of big data, *IBM Global Business Services*, 12(2012), 1-20.
- Seddon, J.J., Currie, W.L., 2017, A model for unpacking big data analytics in high-frequency trading, *Journal of Business Research*, 70, 300-307.
- Šemanjski, I., 2015, Potential of big data in forecasting travel times, *Promet-Traffic-Traffico*, 27(6), 515-528.
- Servén, L., 2002, “The Output Cost of Latin America’s Infrastructure Gap”, Vol. 186, Working Papers Central Bank of Chile.
- Shi, Y., Wu, H., 2018, Data aggregation for road functionality detection based on machine learning and vanet, *Journal of Computers*, 29(2), 161-173.
- Shioji, E., 2001, Public Capital and Economic Growth: A Convergence Approach, *Journal of Economic Growth*, 6(3), 205-227.
- Short, J.F., 1989, On defining, describing and explaining elephants and reactions to them, *Hazards, Disasters, and Risk Analysis*, 397-419.

- Sifah, E. B., Xia, Q., Agyekum, K. O. B. O., Amofa, S., Gao, J., Chen, R., Xia, H., Gee, J.C., Du, X., Guizani, M., 2018, Chain-based big data access control infrastructure, *The Journal of Supercomputing*, 74(10), 4945-4964.
- Sims., C., 1982, Policy analysis with econometric models, *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, 107-152.
- Snowden, D., 2002, Complex acts of knowing: paradox and descriptive self-awareness, *Journal of Knowledge Management*, 6(2), 100–111.
- Soltani, Z., Navimipour, N.J., 2016, Customer relationship management mechanisms: a systematic review of the state of the art literature and recommendations for future research, *Computers in Human Behavior*, 61, 667-688.
- Song, Y., Wu, P., Li, Q., Liu, Y., Karunaratne, L., 2021, Hybrid nonlinear and machine learning methods for analyzing factors influencing the performance of large-scale transport infrastructure, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1-14.
- Soteriou, A. C., Chase, R. B., 1998, Linking the customer contact model to service quality, *Journal of Operations Management*, 16(4), 495-508.
- Souder, W. E., Monaert, R. K., 1992, Integrating Marketing and R&D Project Personnel Within Innovation Projects: An Information Uncertainty Model, *Journal of Management Studies*, 29(4), 485-512.
- Spencer, M., Spiegelman L., 1964, *Managerial economics –Decision Making and forward planning*, Homewood, Irvin.
- Stake, R.E., 1983, “The case study method in social inquiry”, in G. E Madaus, M. S. Scriven, D. L. Stufflehant (curr.), *Evaluation modèles*. Boston, Kluwer-Nijhoff, pp. 279-286.
- Stephan, A., 2000, Regional Infrastructure Policy and its Impact on Productivity: A Comparison of Germany and France, *Applied Economics Quarterly*, 46.
- Stephan, A., 2003, Assessing the Contribution of Public Capital to Private Production: Evidence from the German Manufacturing Sector, *International Review of Applied Economics*, 17(4), 399-417.
- Stevens, N.-A., Lydon, M., Marshall, A. H., Taylor, S., 2020, Identification of bridge key performance indicators using survival analysis for future network-wide structural health monitoring, *Sensors*, 20(23), 1-15.
- Steyn, W. J. M., 2020, Selected implications of a hyper-connected world on pavement engineering, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 13(6), 673-678.

Sturm, J.E., de Haan, J., 1995, Is Public Expenditure Really Productive? New Evidence for the US and the Netherlands, *Economic Modelling*, 12(1), 60-72.

Su, Z., Xu, Q., 2021, Security-Aware Resource Allocation for Mobile Social Big Data: A Matching-Coitional Game Solution, *IEEE Transactions on Big Data*, 7(4), 632-642. Doi:10.1109/TBDATA.2017.2700318.

Sun, E.W, Chen, Y.T., Yu, M.T., 2015, Generalized optimal wavelet decomposing algorithm for big financial data, *International Journal of Production Economics*, 165, 194-214.

Sun, M., Zhang, J., 2020, Research on the application of block chain big data platform in the construction of new smart city for low carbon emission and green environment, *Computer Communications*, 149, 332-342.

Suthaharan, S., 2014, Big data classification: problems and challenges in network intrusion prediction with machine learning, *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 41(4), 70-73.

Swacha, J., 2015, Gamification in knowledge management: motivating for knowledge sharing, *Polish Journal of Management Studies*, 12(2), 150-160.

Swan, M., 2015, *Blockchain – Blueprint for a new Economy*, Sebastopol: O'Reilly Media Inc; De Filippi, P., Loveluck, B., 2016, The Invisible Politics of Bitcoin: Governance Crisis of a Decentralised Infrastructure, *Internet Policy Review*, 5(3), 1–28. doi:10.14763/2016.3.427.

Tariq, N., Asim, M., Al-Obeidat, F., Zubair Farooqi, M., Baker, T., Hammoudeh, M., Ghafir, I., 2019, The security of big data in fog-enabled IoT applications including blockchain: A survey, *Sensors*, 19(8), 1788.

Tatom, J.A., 1991, Public Capital and Private Sector Performance, *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 73(3).

Thun, J.H., Hoenig G., 2011, An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry, *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242-249.

Tonchia S., 2001, *Il Project Management: come gestire il cambiamento e l'innovazione*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Tonchia S., 2001, *Il Project Management: come gestire il cambiamento e l'innovazione*, Il Sole 24 Ore, Milano.

Tonchia S., 2007, *Il Project Management*, Il Sole 24 Ore, Milano.

- Tsakalakis, N., Stallabourdillon, S., O'Hara, K., 2016, What's in a name: the contrasting views of pseudonymisation under eIDAS and the General Data Protection Regulation, *European Journal of Psychotraumatology*, 3(2), 163-167.
- Uslu, B. Ç., Okay, E., & Dursun, E., 2020, Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design, *Journal of Cloud Computing*, 9(1), 1-23.
- Van Maanen, J., Dabbs, J. M., Jr.,Faulkner, R. R., 1982, *Varieties of qualitative research*, Sage Beverly Hills, CA.
- Varpio, L., Paradis, E., Uijtdehaage, S., Young, M., 2020, The distinctions between theory, theoretical framework, and conceptual framework, *Academic Medicine*, 95(7), 989-994.
- Vegge, T., Tarascon, J.-M., Edström, K., 2021, Toward better and smarter batteries by combining AI with multisensory and self-healing approaches, *Advanced Energy Materials*, 11(23), 2100362.
- Vijverberg, W.P.M., Vijverberg, C.-P., Gamble, J.L., 1997, Public Capital and Private Production, *Review of Economics and Statistics*, 79(2), 267-278.
- Villars, R. L., Olofson, C. W., & Eastwood, M., 2011, *Big data: What it is and why you should care*, White paper, IDC, 14, 1-14.
- Vlek, C. A., 1996, A multi-level, multi-stage and multi-attribute perspective on risk assessment, decision-making and risk control, *Risk decision and Policy*, 1(1), 9-31.
- Voss, G.M., 2002, Public and Private Investment in the United States and Canada, *Economic Modelling*, 19(4), 641-664.
- Wang, J., Boukerche, A., 2021, Non-parametric models with optimized training strategy for vehicles traffic flow prediction, *Computer Networks*, 187, 107791.
- Wang, J., Ding, D., Liu, O., Li, M., 2016, A synthetic method for knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number and group support systems, *Applied Soft Computing*, 39, 11-20.
- Wang, K.Y., Tan, L.P., Cheng, S.L., Wong, W.P., 2015, Knowledge management performance measurement: measures, approaches, trends and future directions, *Information Development*, 31(3), 239-257.
- Wang, T., Bhuiyan, M. Z. A., Wang, G., Rahman, M. A., Wu, J., Cao, J., 2018, Big data reduction for a smart city's critical infrastructural health monitoring, *IEEE Communications Magazine*, 56(3), 128-133.
- Wang, Y., Zheng, J., 2010, Knowledge management performance evaluation based on triangular fuzzy number, *Procedia Engineering*, 7(8), 38-45.

- Ward, J.S., Barker, A., 2013, *Undefined by data: a survey of big data definitions*, consultabile su <https://arXiv.org/abs/1309.5821>
- Waugh, R. F., 2002, Academic staff perceptions of administrative quality at universities, *Journal of Educational Administration*, 40(2), 172-188.
- Webster, J., Watson, R.T., 2002, Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review, *MIS Quarterly*, 26(2), 13-23.
- Wei, S., Bao, Y., Li, H., 2020, Optimal policy for structure maintenance: A deep reinforcement learning framework, *Structural Safety*, 83, 101906.
- Werbach, K., 2018, *The Blockchain and the New Architecture of Trust*, Cambridge: MIT Press.
- White, C., 2011, *Using big data for smarter decision making IBM*, Yorktown Heights, New York.
- Wiig, K.M., 1997, Knowledge management: An introduction and perspective, *Journal of Knowledge Management*, 1(1), 6–14.
- Willet, A. H., 1901, The Economic Theory of risk and Insurance, *Studies in History, Economic and Public Law*, 14 (2), 6-7.
- Wu J., Ota K., Dong M., Li J., Wang H., 2018, Big data analysis-based security situational awareness for smart grid, *IEEE Transaction Big Data*, 4(3), 408-417.
- Wu, Q., Xia, S., Fan, Q., Li, Z., 2019, Performance analysis of IEEE 802.11p for continuous backoff freezing in IoV, *Electronics*, 8(12), 1404.
- Wu, Y.L., Wang, X., Wu, H.S., 2009, “Research on the performance measurement of knowledge management based on principal component analysis”, International Workshop on Intelligent Systems and Applications, IEEE, 23-24 May, Wuhan, China.
- Xiong, W., Yu, Z., Bei, Z., Zhao, J., Zhang, F., Zou, Y., Xu, C., 2013, A characterization of big data benchmarks, *In 2013 IEEE International Conference on Big Data*, Silicon Valley, CA, USA 6-9 Oct, 118-125.
- Yamano, N., Ohkawara, T., 2000, The Regional Allocation of Public Investment: Efficiency or Equity?, *Journal of Regional Science*, 40(2), 205-229.
- Yamarik, S., 2000, *The Effect of Public Infrastructure on Private Production During 1977-96*, University of Akron, Akron, Ohio.

- Yan, G., Chen, Y., 2021, The application of virtual reality technology on intelligent traffic construction and decision support in smart cities, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021.
- Yang, X., Tang, L., Niu, L., Zhang, X., Li, Q., 2018, Generating lane-based intersection maps from crowdsourcing big trace data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 168-187.
- Yin R. K., 1983, *The case study method: An annotated bibliography*, Cosmos Corporation, Washington D.C.
- Yin R. K., 1994, *Key study research. Design and methods*, Sage Publications Inc., New York.
- Yin R. K., 1999, *Key study research*, Sage Publications Inc., New York.
- Yin, R.K, 1983, *The case study method: annotated bibliography*, Cosmos Corporation, Washington, D.C.
- Yin, R.K., 2003, *Case Study Research: Design and Methods*, Sage, Thousand Oaks, California.
- Yin, R.K., 2005, *Lo studio di caso nella ricerca scientifica*, Armando, Roma.
- Yin, R.K., 2017, *Case study research. Design and Methods, II ed.*, SaGE Publications, Thousand Oaks.
- Yue, L., Junqin, H., Shengzhi, Q., Ruijin, W., 2017, Big data model of security sharing based on blockchain. In *2017 3rd International Conference on Big Data Computing and Communications (BIGCOM)*, Chengdu, 117-121.
- Yue, W., Li, C., Mao, G., Cheng, N., Zhou, D., 2021, Evolution of road traffic congestion control: A survey from perspective of sensing, communication, and computation, *China Communications*, 18(12), 151-177.
- Zackhauser, R. V., 1996, The risk management dilemma, *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 545(1), 144-155.
- Zaslavsky, A., Perera, C., Georgakopoulos, D., 2013, *Sensing as a service and big data*, <https://arxiv.org/abs/1301.0159>.
- Zeithaml, V. A., Parasuraman, A., Malhotra, A., 2002, Service quality delivery through web sites: a critical review of extant knowledge, *Journal of the Academy of Marketing Science*, 30(4), 362-375.

- Zeithaml, V.A., 1987, *Defining and Relating Prices, Perceived Quality and Perceived Value*, Marketing Science Institute, Cambridge, MA.
- Zhang, A., Zhong, R. Y., Farooque, M., Kang, K., Venkatesh, V. G., 2020, Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework and system architecture. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104512.
- Zhang, C., Patras, P., Haddadi, H., 2019, Deep learning in mobile and wireless networking: A survey, *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(3), 2224-2287.
- Zhang, R., 2010, The application of the balanced scorecard in performance assessment of knowledge management, *The IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, IEEE, Chengdu, China, 16-18 April 2010, 443-447.
- Zhang, Z., Zaman, A., Xu, J., Liu, X., 2022, Artificial intelligence-aided railroad trespassing detection and data analytics: Methodology and a case study, *Accident Analysis and Prevention*, 168, 106594.
- Zikopoulos, P., Eaton, C., 2011, *Understanding big data: analytics for enterprise class Hadoop and streaming data*, McGraw-Hill Osborne Media, New York City.
- Zsidin, A., Ragatz G.L., Melnuk S.A., 2005, An institutional theory perspective of business continuity planning for purchasing and supply management, *International Journal of Production Research*, 43(16), 3401-3420.