

Intelligenza artificiale nella didattica universitaria: lo studio di un caso per la rilevazione delle discariche abusive nelle zone urbane di Genova

Vincenzo De Francesco¹ Paolo Maresca² and Lidia Stanganelli³

¹ Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie delle Informazioni (DIETI), Università di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125, Napoli, ITALIA
v.defrancesco@studenti.unina.it

² Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie delle Informazioni (DIETI), Università di Napoli Federico II, Via Claudio 21, 80125, Napoli, ITALIA
paolo.maresca@unina.it

³ Euroopportunity
Napoli, Italia ldistn@gmail.com

Abstract.

Il cognitive computing sta rivoluzionando le competenze e le conoscenze che devono essere acquisite dagli allievi universitari che si devono cimentare con la risoluzione dei problemi complessi, ciò è dovuto alla irruzione “dirompente” delle tecnologie quali: cloud, Big Data, IoT, dispositivi mobili e social network. Il cognitive computing, in particolare, rappresenta la tecnologia più dirompente che le integra tutte.

In questo lavoro gli autori presentano lo studio di un caso, la rilevazione delle discariche abusive nelle zone urbane della città di Genova. Il lavoro è stato svolto con la collaborazione di IBM-Italia e l’assessorato all’ambiente del comune di Genova. L’algoritmo sviluppato consente la rilevazione e la segnalazione di ogni tipo di rifiuto in real time attraverso metodi di intelligenza artificiale adoperando Watson-IBM. L’algoritmo è stato insignito come il miglior algoritmo italiano di IA mai sviluppato per questo dominio applicativo ed è stato premiato da IBM alla presenza dell’assessore all’ambiente del comune di Genova e del vicepresidente IBM Cloud Italia Alessandro la Volpe, durante la convention Party Cloud per Genova tenutasi a Milano nei giorni 11-12 Novembre 2018. Il premio è andato al giovane studente Vincenzo De Francesco il quale ha continuato su questa tematica nella sua tesi triennale. Questo lavoro, oltre a discutere lo studio di un caso, vuole riflettere su alcune implicazioni che questa tecnologia dirompente sta causando sulla didattica universitaria (e non solo) e su come alcuni skill, richiesti dalle aziende, ma non disponibili ancora nei nostri corsi di studio universitari, possono essere costruiti in corsi specifici come quello di Cognitive Computing Systems impartito presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie dell’Informazione dell’Università di Napoli Federico II.

Keywords: Cognitive computing systems, Artificial Intelligence, Big Data, Exponential Learning, Cloud, IoT.

1 Introduzione

Saremo adatti al futuro? L'85% dei lavori che si faranno nel 2030 non sono stati ancora inventati. I millennials people dovranno affrontare una delle rivoluzioni culturali più profonde mai avvenute. La causa è dovuta alle tecnologie "dirompenti", che sconvolgono lo stato delle cose e lo stravolgono cambiando completamente le competenze e le conoscenze richieste dalle aziende, acquisite dagli allievi finora nelle università. Si pensa che l'impatto di queste tecnologie sarà paragonabile a quello che si è avuto con l'avvento del vapore o dell'energia elettrica. Ma quali sono queste tecnologie? Sono il cloud, Big Data, IoT, dispositivi mobili, social network e cognitive computing. In particolare, l'ultima, il cognitive computing rappresenta quella che integra tutte. Essa nasce come modello basato sul modo di ragionare dell'essere umano e la cui applicazione è trasversale su tutti i domini applicativi. La rapidità con cui questo sconvolgimento sta affermandosi è esponenziale. Siamo stati abituati nel passato a crescita esponenziali, se facciamo riferimento alla legge di Moore del 1971 (ogni 18 mesi raddoppia la velocità dei processori con cui vengono costruiti i calcolatori) o alla legge di Metcalfe del 1995 per cui raddoppia il numero di nodi di una rete che ha causato lo sviluppo così rapido della piattaforma di facebook e di google. Ma non eravamo preparati a questa crescita più che esponenziale dell'apprendimento, dovuta alla crescita della conoscenza per effetto dell'aumento dei dati elaborati con tecniche di AI. Graeme Wood ha detto a tal proposito "i cambiamenti non si sono mai verificati così in fretta e che dopo che ciò sarà avvenuto non ci saranno mai più cambiamenti lenti nella nostra società". Se osserviamo questi processi ci aspettiamo cambiamenti rapidi anche negli skill che le aziende richiederanno e quindi nella formazione che dovremo fornire ai giovani adulti che si affacciano sul mercato del lavoro. Lo dovremo fare perché questa velocità imprime un nuovo paradigma di apprendimento che potremmo denominare exponential learning, il quale proprio grazie a AI ed ai Big Data aumenterà la nostra velocità di apprendimento appunto in maniera esponenziale. Nel prossimo paragrafo discuteremo di intelligenza artificiale e cognitive computing. Nel paragrafo 3 parleremo del party cloud per Genova e dell'applicazione cognitiva sviluppata. Nel paragrafo 4, infine, trarremo le conclusioni.

2 Intelligenza Artificiale e Cognitive Computing

Come possiamo definire l'intelligenza artificiale? Ci sono molte definizioni tra cui scegliere a seconda di chi sta definendo e del livello di profondità (un po' come il tè che può essere servito a diverse gradazioni). L'intelligenza artificiale è un campo ampio, e sebbene alcuni aspetti dell'IA possano essere sotto i riflettori di oggi, c'è molto spazio per nuove innovazioni sotto l'egida dell'IA. Possiamo utilizzare, per lo scopo di questo lavoro, la definizione in [1], che afferma che *l'intelligenza artificiale è tutto ciò che rende le macchine più intelligenti.*

La visione attuale di IA è quella di Intelligenza Aumentata meglio nota come cognitive computing. In altri termini *l'IA non dovrebbe tentare di sostituire gli esseri umani, ma piuttosto assistere e amplificare la loro intelligenza.* Possiamo usare l'intelligenza

aumentata per estendere le capacità umane e realizzare cose che né gli uomini né le macchine potrebbero fare da soli.

Alcune delle sfide che affrontiamo oggi provengono da un eccesso di informazioni. Internet ha portato a comunicazioni più veloci e all'accesso a una grande quantità di informazioni. Il calcolo distribuito e l'IoT hanno portato alla generazione di enormi quantità di dati e il social networking ha fatto sì che la maggior parte di quei dati non siano strutturati. Ci sono così tanti dati che gli esperti umani non possono tenere il passo con tutti i cambiamenti e i progressi nei loro campi di studio: insomma non abbiamo un piano per utilizzarli [2], [3]. Con l'intelligenza aumentata o allargata (*Augmented Intelligence*), si vuole fornire le informazioni di cui gli esperti hanno bisogno a portata di mano e restituire tali informazioni con una *probabilità di correttezza*, in modo che gli esperti possano prendere decisioni supportate da evidenze. In questo modo si lascia che le macchine facciano il lavoro dispendioso in termini di tempo in modo che gli esperti siano in grado di fare le cose che contano [3]. L'epoca della programmazione è nei fatti conclusa e la nuova era nella quale ci stiamo incamminando è quella del cognitive computing. L'intelligenza artificiale è una disciplina che ha più di cinquanta anni e la si deve ad Alan Turing [4], [5]; essa ha una terminologia molto ampia quindi, a volte, c'è ambiguità nei termini usati. Non ci soffermeremo su questo e rimandiamo alla bibliografia per gli approfondimenti ma sia che si parli di intelligenza naturale o intelligenza artificiale, ci dobbiamo occupare di come si fa ad imparare e come si attiva il processo di apprendimento. Gli umani sono nati con un certo livello di intelligenza innata, e possiamo sviluppare quell'intelligenza attraverso l'apprendimento. Le macchine hanno ciò che gli diamo, il buon senso non è attualmente trasferibile alle stesse. Ciò che forniamo, tuttavia, è la possibilità di esaminare esempi e creare modelli di apprendimento automatico basati sugli input e sugli output desiderati. Per l'apprendimento supervisionato, che è quello che applicheremo in questo lavoro, alimentiamo l'AI con esempi.

2.1 Cognitive Computing a skill nella didattica universitaria

Il Cognitive computing è dirompente, esso irrompe nel mondo delle competenze e degli skill costruendone molte nuove perché la tipicità trasversale della tecnologia impone molte interdiscipline e nuove professionalità [6], [7]. Potremmo ipotizzare, classificandole, il tipo di professionalità che dovremmo formare, ma poi queste sfoceranno in una quantità enorme di etichette variamente accettate dal mercato e spesso non formate nelle scuole e università.

Presumibilmente le tipologie di professionalità richieste saranno [7], [8]:

(i) **Multi-disciplinare:** un set di abilità integrate che copre: matematica, apprendimento automatico, intelligenza artificiale, statistiche, database, ottimizzazione. Insieme ad una profonda conoscenza della risoluzione dei problemi.

(ii) **Multi-dominio:** Un apprendimento "Consapevole dell'esistenza di contesti diversi da quelli in cui si è formati" es. socio-economico, in settori come la medicina, energia, ambiente, finanza, trasporti, vendite, etc.

(iii) **Multi-empatica:** I professionisti dovranno interagire con:

- Esseri umani i quali a loro volta possono essere visti come: *dati, generatori di conoscenza o consumatori*.
- Sistemi cognitivi.
- Esseri umani a realtà aumentata quindi dotati di dispositivi che ne aumentino i sensi (occhiali, etc).
- Sistemi comandati da robot.
- Ibrida cioè uno o più dei punti precedenti.

In un ambiente nel quale la voce diventerà lo strumento principe per comunicare con le macchine, ci sarà la possibilità di interazione fra persone e cose per cui necessariamente cambieranno i social media, le interfacce perché saranno cognitive, etc.

Un'idea abbastanza condivisa è che tutte queste professionalità proverranno da diversi domini. Ad esempio dalle scienze sociali potremo costruire professionalità quali: cognitive psychology, developmental methodologies, teaching, social behavior, economy. Ma molte altre professionalità dovranno essere *rifondate* come ad esempio: communication, teamwork, problem solving, creativity e resilience skills.

Alcune professionalità cominciano a farsi strada e portano il nome di: cognitive system developers, cognitive system integrators, cognitive evaluators, cognitive trainers, etc., mentre nel frattempo ci accontentiamo nel concentrarci a formare professionalità quali data scientist e data integrator.

Sebbene non vi sia dubbio che queste professionalità dovranno essere prodotte dall'università, il ritmo attuale di produzione ci pone in deficit costante. La giusta domanda è come trasformare il deficit in surplus? Probabilmente la cooperazione fra accademia e industria aiuterà a raggiungere l'obiettivo. Il ruolo dell'accademia sarà diverso ma sempre centrale: l'università del futuro passerà dal ruolo di *generatore di conoscenza* al ruolo di *generatore di generatori di conoscenza*, una visione *meta-modello* [9] nella quale tutti insieme: università, organizzazioni e aziende imparano l'una dall'altra diventando *smarter* quindi più *cognitive*.

3 IBM Party Cloud per Genova

A seguito della caduta del ponte Morandi di Genova, IBM decise di promuovere una iniziativa a livello nazionale che mettesse insieme tutte le forze della ricerca e delle aziende al fine di promuovere un'idea e un algoritmo innovativo sviluppato con IA e Watson per risolvere un problema della città di Genova. Nacque così il party cloud per Genova. Il "PartyCloud Challenge per Genova" [10] è un hackaton online dedicato a trovare nuove soluzioni per contrastare il dumping illegale di rifiuti ingombranti in modo più efficace [11,12]. In questo caso specifico, facciamo esplicito riferimento alla città di Genova, ma lo stesso approccio può essere applicato ad altre città, in particolare alle città intelligenti. L'hackaton è stato lanciato il 20 settembre a Milano all'evento PartyCloud dove IBM ha promosso questa sfida per accelerare l'innovazione tecnologica made in Italy al servizio della sostenibilità. Si è svolto dal 20 settembre 2018 all'11 novembre 2018 ed era aperto a sviluppatori, data scientist e IT. Questa iniziativa è stata supportata da IBM Italia, Dock Joined in Tech, Lifegate e Codemotion, con il patrocinio del Comune di Genova e dell'AMIU, azienda locale dei rifiuti.

Attualmente, le situazioni più critiche vengono segnalate spontaneamente dai cittadini, anche se sono installate 300 telecamere, che richiedono ad un operatore di guardare i video per trovare abusi. Di conseguenza, l'obiettivo è lo sviluppo di una soluzione di *allerta* intelligente in grado di rilevare gli abusi in tempo reale e di attivare tempestivamente gli allarmi nel centro operativo, in modo da gestire rapidamente le contromisure per risolvere i problemi emersi. Più in dettaglio, i partecipanti al concorso hanno dovuto sviluppare un prototipo applicativo basato sulla piattaforma IBM Cloud. Tale ambiente, è dotato di strumenti avanzati di riconoscimento delle immagini, che possono essere utilizzati per identificare *abusi* e possono attivare allarmi per segnalarli tramite SMS e/o altri mezzi. Ogni allarme dovrebbe includere quanto segue: (i) immagine delle *prove*, (ii) coordinate di geo-localizzazione, (iii) tipo di rifiuti ingombranti e sue caratteristiche spaziali per valutare la sua possibile pericolosità, (iv) possibili informazioni su chi ha fatto il dumping illegale, ad esempio una persona, un veicolo e il suo numero di targa, (v) eventuali altre anomalie. Le applicazioni sviluppate, diverse decine, sono state valutate sulla base dei seguenti criteri: (i) utilità e valore, (ii) questione della sfida, (iii) solidità tecnica e accuratezza, inclusi progetti architetturali della soluzione, (iv) progettazione dell'interfaccia e esperienza utente, (v) creatività e novità.

3.1 L' algoritmo proposto per attenuare gli sversamenti illegali di rifiuti ingombranti

La discussione del modello.

L'algoritmo qui descritto si basa su un particolare tipo di intelligenza artificiale chiamata apprendimento supervisionato. Con questo tipo di apprendimento rafforziamo l'apprendimento automatico con esempi. Vi sono, naturalmente, alcune difficoltà nel definire le categorie di rifiuti ed esiste una normativa a tal proposito [13,14]. In altre parole, finché consideriamo tipi di rifiuti che conosciamo (sedia, lavatrice, frigorifero, armadio, ecc.), il modello può apprendere al meglio e garantire un alto livello di fiducia nel riconoscimento. Purtroppo, non siamo sempre in grado di caratterizzare il rifiuto o perché l'immagine non ci consente di riconoscerlo o perché non appartiene a una categoria a noi nota. Tuttavia, per rafforzare l'apprendimento in questi casi, è necessario disporre di numerose fotografie dello stesso rifiuto realizzate con diversi tipi di luminosità e contrasto e da diverse angolazioni. Uno svantaggio è che quando le immagini vengono catturate da telecamere fisse non è sempre possibile avere foto chiare da diverse angolazioni. Ancora una volta l'identificazione del rifiuto può essere complicata dal fatto che è immersa in uno scenario in cui è difficile identificarlo se non abbiamo addestrato il modello a farlo. Accade spesso quando si trova tra auto parcheggiate o seminascode in fessure o muri di confine, etc. Uno sforzo particolare è quindi dedicato alla formazione del modello, per il quale è stata spesa la maggior parte del tempo dedicato al progetto. Attualmente il modello ha appreso la sua conoscenza nel settore dei rifiuti riconoscendo e classificando un paio di migliaia di foto. Sia per progettare il sistema che per costruire il modello di apprendimento supervisionato per la formazione e la segnalazione dei risultati è stato utilizzato Watson Studio di IBM [15]. Il punto cruciale è che l'applicazione cognitiva deve coesistere con sistemi

software tradizionali, quali quelli del comune di Genova, del sistema informativo del comando della polizia municipale e del sistema informativo dell'AIMA. Anche il modello di apprendimento è stato interamente realizzato con Watson Studio. In fig. 1 sono identificate alcune delle 14 classi a cui si aggiunge quella dei falsi positivi (classe negativa).

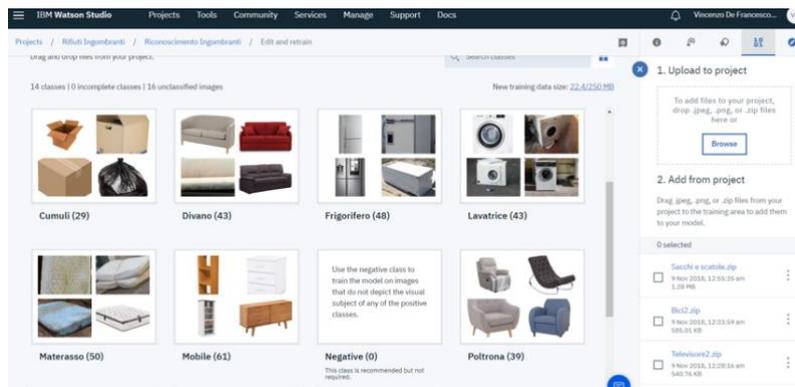


Figura 1. Le 14 classi di riconoscimento effettuate dall'algorithm

Per lo sviluppo del prototipo dell'applicazione abbiamo utilizzato il servizio IBM Watson Visual Recognition, ha algoritmi sofisticati per analizzare le immagini allo scopo di sviluppare un classificatore di rifiuti ingombranti. Il riconoscimento di un rifiuto innesca diversi processi di gestione da parte del Comune, ad esempio: riferire alle autorità competenti (se è stato sviluppato il modello per riconoscere la targa dell'auto), raccogliere i rifiuti, etc. Per fare ciò è stato deciso di identificare lo stesso rifiuto attraverso la sua posizione e dimensione in modo che possa essere raccolto da un veicolo attrezzato e sufficientemente grande. Gli avvisi sono memorizzati in un database e ciascuno è caratterizzato dalle seguenti informazioni: (1) ID (2) Indirizzo (3) Latitudine (4) Longitudine (5) Data e ora (6) Punteggio (7) Risultato (8) Dimensioni (vedi fig. 2). I dati vengono elaborati con un Jupyter Notebook, è un ambiente basato sul Web per analizzare i dati per l'elaborazione interattiva, inoltre è stato sviluppato un taccuino Python per rappresentare la distribuzione degli avvisi su una mappa di Genova.

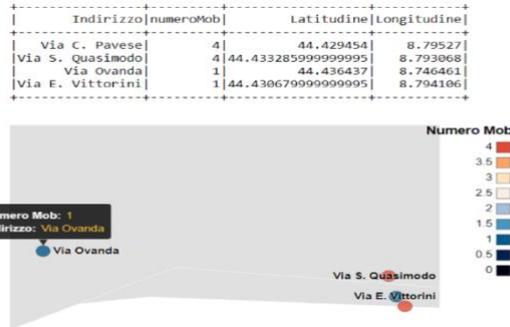


Figura 2. Segnalazione punti di identificazione delle discariche abusive effettuate dall'algorithm

Training del modello di IA per il riconoscimento delle immagini.

L'architettura di Watson Studio, l'applicazione basata sulla gestione, il riconoscimento, la formazione e la segnalazione dei risultati è mostrata in Figura 3.

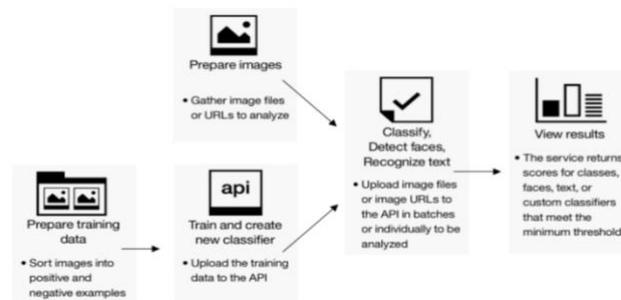


Figura 3 Architettura di Watson Studio

L'attività più complessa e delicata è il processo di apprendimento supervisionato del modello di riconoscimento, la cui bontà stabilisce il successo del modello. Esso è rappresentato in fig. 4 e mostra i passaggi per la creazione e la formazione di un classificatore di riconoscimento visivo specializzato.

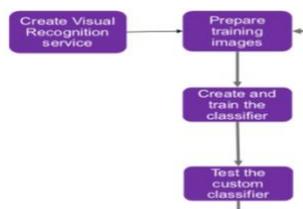


Figura 4 Modello di apprendimento dell'algorithm di riconoscimento

È composto da 3 passi:

1. Preparare i dati di allenamento.
Consiste nel raccogliere i file di immagine da utilizzare come dati di allenamento di esempio positivi e negativi.
2. Creare e preparare il classificatore.
Consiste nello specificare il percorso delle immagini di addestramento e chiamare l'API Visual Recognition per creare il classificatore personalizzato.
3. Provare il classificatore personalizzato.
Consiste nel classificare le immagini con il nuovo classificatore personalizzato e misurare le prestazioni del classificatore.

I classificatori personalizzati possono essere molto potenti ma richiedono un'attenta formazione per essere ottimizzati correttamente. Per ogni tipo di rifiuto ingombrante è stata creata una classe nel modello. Le classi sono le seguenti:

(1) Frigorifero (2) Rondella (3) Divano (4) Mobile (5) Congelatore (6) Bicicletta (7) Ammassi (8) Poltrona (9) Materasso (10) Sedia (11) Stampante (12) Televisione (13) Base del letto (vedi fig. 5).

Image ID	Class	Confidence
t3.jpg	Materasso	0.86
	Poltrona	0.23
	Divano	0.09
	Frigorifero	0.09
	Lavatrice	0.05
	Telesore	0.01
	Cumuli	0.01
	Mobile	0.01
	Bicicletta	0.00
	Rete	0.00
	Altri oggetti voluminosi	0.00
	Congelatore	0.00
	Sedia	0.00
Stampante	0.00	
t4.jpg	Lavatrice	0.95
	Altri oggetti voluminosi	0.00
	Bicicletta	0.00
	Congelatore	0.00
	Cumuli	0.00
	Divano	0.00
	Frigorifero	0.00
	Materasso	0.00
	Mobile	0.00
	Poltrona	0.00
	Rete	0.00
	Sedia	0.00
	Stampante	0.00
Telesore	0.00	
t6.jpg	Congelatore	0.90
	Frigorifero	0.32
	Lavatrice	0.01
	Altri oggetti voluminosi	0.00
	Mobile	0.00
	Cumuli	0.00
	Bicicletta	0.00
	Divano	0.00
	Materasso	0.00
	Poltrona	0.00
	Rete	0.00
	Sedia	0.00
	Stampante	0.00
Telesore	0.00	

Figura 5. Esempio di uso dell'algoritmo di riconoscimento dei rifiuti solidi ingombranti in discariche abusive nella città di Genova

Le classi sono state popolate con un gran numero di immagini dei rifiuti da diverse angolazioni per ottenere un eccellente allenamento. La scelta delle immagini utilizzate per popolare le classi del modello è importante per l'efficienza del classificatore. Il modello è stato addestrato con immagini prese da Google, dove la distanza dai rifiuti è di circa due-tre metri. L'accuratezza del classificatore è direttamente proporzionale alla qualità dell'allenamento. Il modello è stato testato con immagini vicine a casi reali.

Quando un'immagine è in input per il classificatore, restituisce un punteggio, che è un numero compreso tra 0 e 1. Questo numero non rappresenta una percentuale di precisione, ma indica invece la fiducia del modello nella classificazione, restituita in base alle immagini di allenamento.

4 Conclusioni

In questo paper si è discusso del cognitive computing e la sua applicabilità nella didattica universitaria. È stato fornito lo studio di un caso con il quale è stato mostrato come si può progettare e realizzare un sistema cognitivo ad apprendimento supervisionato, in grado di riconoscere la presenza dei rifiuti solidi urbani ingombranti in discariche abusive nella città di Genova. Il cognitive computing non solo sconvolge i temi della ricerca ma anche quelli della didattica richiedendo sempre più skill freschi e pertinenti. Molti di questi non sono ancora stati costruiti dall'accademia, è necessario un modo per implementarli, forse attraverso i new collar [16] ma anche attraverso la costruzione di un ecosistema cognitivo [17] e attraverso la creazione di corsi ad hoc [18]. Per quanto attiene al primo punto bisogna sottolineare come le aziende come IBM procedano ormai autonomamente alla costruzione di skill utili per il loro lavoro sui sistemi cognitivi, si cita ad esempio le tematiche di: new app developer (cognitive app), cyber security analyst e cognitive business. Mentre per quanto attiene al punto 2, un ecosistema è stato costituito attraverso la comunità cognitiva italiana il 18 maggio 2018 presso l'Università di Napoli Federico II – sede di S. Giovanni. Hanno partecipato università, aziende e scuole, per un totale di circa 80 persone. Mentre per quanto riguarda il punto 3, quest'anno accademico è stato istituito nell'ordinamento didattico del DIETI presso l'ateneo Federico II di Napoli il primo corso di *cognitive computing system* d'Italia. Osserviamo che, se si vuole raccogliere la sfida di applicare le tecnologie cognitive, la conoscenza deve essere generata in modo più intelligente e le nuove professioni diventeranno sempre più cognitive con nuovi tecnici da formare e nuovi skills da costruire. Insomma, *dall'era della information technology si passerà all'era della knowledge technology*, dato il fatto che esiste un enorme insieme di dati dai quali bisognerà estrarre conoscenza. Forse anche le professioni diventeranno più interessanti ed attrarranno più giovani nelle università e nei vari corsi che si occuperanno di conoscenza ed estrazione di conoscenza dai dati. Le aziende sarebbero interessate in quanto potrebbero ricollocare molti loro dipendenti in un settore che adesso è sfidante e trainante, le università potrebbero prepararsi alla sfida della creazione di corsi di laurea che facciano fronte a questa esigenza.

Abbiamo cominciato questo articolo con la domanda: saremo adatti al futuro? La risposta è sì, perché siamo dotati di un sesto senso! La teoria dell'evoluzione della specie di Darwin ha affermato che *non è l'animale più forte quello che sopravvive ma quello che è capace ad adattarsi*. Il nostro sesto senso è l'adattamento e noi ci adatteremo. La cooperazione fra università e aziende sarà la chiave di volta di questo adattamento!

Acknowledgements

L'algoritmo presentato è stato sviluppato nell'ambito del "Party Cloud Challenge per Genova". Il lavoro è in collaborazione con IBM, il comune di Genova e l'AIMA (Azienda municipale per lo smaltimento dei rifiuti del comune di Genova). L'algoritmo è stato sviluppato da Vincenzo De Francesco ed ha ricevuto il primo premio come migliore algoritmo di AI durante il party cloud per Genova tenutosi l'11 e 12 novembre

2018. Il premio è stato consegnato dal vicepresidente IBM Cloud dr. Alessandro La Volpe.

References

1. Ferrucci, F. A.: This is Watson. IBM Journal of research and Development 56(3/4), 1–2 (2012).
2. Mayer-Schonberger V., Cukier K., Big Data, una rivoluzione che trasformerà il nostro modo di vivere e già minaccia la nostra libertà. 2nd edn. Garzanti, Milano (2013).
3. Brynjolfsson E., McAfee A., The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. 2nd edn. W.W.Norton & Company, New York (2014).
4. Turing A.: Computing Machinery and Intelligence, 49, 433-460, (1950)
5. Searle J.: Minds, Brain and Programs, Behavioral and Brain Sciences 3 (3): 417-457 (1980)
6. Hurwitz J.S., Kaufman M., Bowles A., Cognitive computing and Big Data Analytics. 1st edn, John Wiley & Sons, Indianapolis (2015).
7. Coccoli, M., Maresca, P., & Stanganelli, L. Cognitive computing in education. Journal of E-Learning and Knowledge Society, 12(2), 55-69. (2016).
8. Coccoli, M., Maresca, P., & Stanganelli, L. The role of big data and cognitive computing in the learning process. Journal of Visual Languages and Computing, 38, 97-103. (2017).
9. Coccoli, M., Maresca, P., Stanganelli, L., & Guercio, A. An experience of collaboration using a PaaS for the smarter university model. Journal of Visual Languages and Computing, 31, 275-282. (2015).
10. PartyCloud Challenge per Genova, <http://bit.ly/2Dg2Nj3>, last accessed 2019/04/13.
11. Anagnostopoulos T. *et al.* Challenges and Opportunities of Waste Management in IoT-Enabled Smart Cities: A Survey. IEEE Transactions on Sustainable Computing, 2(3), pp. 275-289, (2017).
12. Del Borghi A., Gallo M., Strazza C., Magrassi F. and Castagna M. Waste management in smart cities: The application of circular economy in Genoa (Italy), *Impresa Progetto Electronic Journal of Management*, 4, pp. 1-13, (2014).
13. Il rifiutologo, <http://www.rifiutologo.it/>, last accessed 2019/04/13.
14. Direttiva (UE) 2018/852 del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 94/62/CE sugli imballaggi e i rifiuti di imballaggio. <http://bit.ly/2UYzCLm>, last accessed 2019/04/13.
15. IBM Watson Studio overview, <https://ibm.co/2UwmnSK>, last accessed 2019/04/13.
16. IBM New collar, <https://ibm.co/2rIzsYy>, last accessed 2019/04/11.
17. Comunità cognitiva italiana, <http://it-cogcom.com>, last accessed 2019/04/11.
18. Cognitive computing systems corso del prof. Paolo Maresca at DIETI-UniNA, <https://bit.ly/2Ix9X69>, accessed 2019/04/11.