

commercialmente disponibili, migliorano o sostituiscono operazioni tecnologiche della manifattura, tuttavia a livello dell'azienda non vi è una vera e propria attività innovativa ma solo learning by doing che ottimizza l'inserimento e l'uso della tecnologia. Nel caso di implementazione di Industria 4.0 è invece necessaria una scelta di nuove tecnologie disponibili che devono essere poi combinate tra di loro in modo specifico secondo la manifattura coinvolta richiedendo una vera propria attività d'innovazione tecnologica che non solo cambia operazioni tecnologiche ma anche le collega tra di loro con tecnologie specifiche. In definitiva possiamo osservare che il complesso di tecnologie utilizzabili per l'implementazione di Industria 4.0 nella manifattura risulteranno da scelte tecnologiche fatte nelle ramificazioni in funzione delle esternalità e intranaltà esistenti per l'impianto produttivo, con bisogni innovativi specifici che dovranno essere affrontati caso per caso. La R&S può dare un contributo importante nelle ramificazioni tecnologiche intermedie che portano a un miglioramento e diversificazione delle tecnologie abilitanti per Industria 4.0, tuttavia, l'impatto socio-economico di un'innovazione, non dipende tanto da attività di ricerca di alto livello, ma quanto piuttosto dal numero elevato di innovazioni incrementali più esterne nella ramificazione che permettono la diffusione e l'adattamento della tecnologia iniziale ai vari casi specifici delle manifatture. Questo è il lavoro tipico dei tecnici che si occupano d'innovazione nell'industria. Il successo quindi dell'implementazione di Industria 4.0 dipenderà fortemente da questa attività innovativa, ma non necessariamente definita come R&S, condotta da tecnici con un livello di formazione adeguata non necessariamente di alto livello scientifico. Nel campo dell'innovazione la formazione in generale è stata infatti dimostrata più importante per la crescita economica che non la protezione della proprietà industriale o la crescita dei redditi (Wang 2010).

3. TECNOLOGIE E INDUSTRIA 4.0

Le tecnologie di Industria 4.0 coinvolgono i grandi campi di ricerca tecnologica che a loro volta generano l'asse tecnologico portante della trasformazione in Industria 4.0 rappresentato dalle cosiddette tecnologie abilitanti che sono oggetto di una continua attività innovativa. L'implementazione di Industria 4.0 avviene quindi secondo un'evoluzione che parte dai grandi campi di ricerca che generano le tecnologie abilitanti, che a sua volta si combinano ramificandosi e formando specifici complessi tecnologici che operano poi nella manifattura delle varie aziende. In questo studio abbiamo preso in considerazione come campi di ricerca scientifica e tecnologica generatori delle tecnologie abilitanti: l'intelligenza artificiale (AI), le nanotecnologie, le biotecnologie e le tecnologie digitalizzanti cercando di descrivere anche ricerche in questi campi ancora allo stato iniziale ma che, visti i tempi sicuramente non brevi dell'implementazione di Industria 4.0, potrebbero diventare in futuro un'importante sorgente di tecnologie abilitanti con un forte grado di radicalità. Vi sono anche altri campi tecnologici che entrano in gioco come la mecatronica, che risulta dalla confluenza di tecnologie elettromeccaniche e informatiche, ma che esiste da molto tempo e non sembra essere di per se stessa sorgente di importanti nuove tecnologie abilitanti. Un altro campo di ricerca che influenza Industria 4.0 è quello dei nuovi materiali, che è stato trattato nel recente rapporto dell'OCSE per Industria 4.0 (McDowell 2017), sottolineando anche l'importanza delle tecnologie digitalizzanti per il loro sviluppo, tuttavia le innovazioni più radicali di questo settore sono collegate alle nanotecnologie e verranno discusse in questa sezione. Nella Fig. 5, abbiamo schematizzato la dipendenza delle tecnologie abilitanti dai grandi campi della ricerca citati, e la loro confluenza nel complesso tecnologico specifico per ogni manifattura che si svilupperà nel quadro dell'implementazione di Industria 4.0.

3.1 Intelligenza artificiale e Industria 4.0

L'intelligenza artificiale (AI) non è di per se stessa una tecnologia, ma piuttosto una disciplina che coinvolge vari campi come la matematica, l'informatica, la filosofia e le neuroscienze e che si è materializzata per le sue applicazioni usando varie tecnologie, dapprima meccaniche ed elettromeccaniche e infine elettroniche. Sovente l'AI è considerata come una tecnologia digitalizzante, poiché normalmente è implementata con tecnologie elettroniche e informatiche.