Tecnologie assistive per l'invecchiamento: modelli, strumenti e prospettive

L'invecchiamento demografico ridefinisce bisogni di cura, ruoli familiari e organizzazione dei servizi, spostando sempre più la gestione della fragilità nello spazio domestico e comunitario. Le tecnologie digitali di monitoraggio, integrate con IoT e intelligenza artificiale, offrono strumenti per una prevenzione proattiva e personalizzata, ma richiedono riprogettazione organizzativa, competenze professionali e solide garanzie etiche.

Di Lorenzo Mucchi *(Professore associato, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (DINFO), Università degli Studi di Firenze)*

L'invecchiamento della popolazione rappresenta una delle trasformazioni più profonde del nostro tempo, con impatti rilevanti sui sistemi di cura, sulle famiglie e sulle comunità locali (Beard et al., 2016). L'aumento della quota di persone ultra-65enni e, in particolare, ultra-75enni, determina una maggiore incidenza di fragilità motorie, cognitive e sensoriali, che si riflettono sulla capacità di svolgere le attività quotidiane, sul rischio di caduta, sulla partecipazione sociale e sul bisogno di assistenza continuativa (Clegg et al., 2013).

Le persone anziane esprimono con sempre maggiore chiarezza il desiderio di rimanere nella propria casa il più a lungo possibile, mantenendo un buon livello di autonomia e di controllo sulla propria vita (Wiles et al., 2012). L'abitazione, il quartiere, le reti di vicinato e di relazione diventano così "luoghi della cura" tanto quanto l'ospedale, le strutture residenziali o gli ambulatori territoriali. Allo stesso tempo, le famiglie sperimentano un carico assistenziale crescente e faticano spesso a conciliare lavoro, vita personale e responsabilità di cura.

In questo contesto, **le tecnologie digitali** (sensori indossabili, sistemi di monitoraggio ambientale, reti domestiche intelligenti, algoritmi di analisi avanzata e piattaforme di teleassistenza) o**ffrono l'opportunità di ripensare le modalità con cui accompagniamo l'invecchiamento**, dotando gli operatori, i caregiver e le persone anziane di strumenti capaci di cogliere in anticipo segnali di fragilità, orientare gli interventi e rendere più sostenibile l'organizzazione dei servizi.

Sensori e monitoraggio continuo per la prevenzione

Negli ultimi anni le **tecnologie di monitoraggio** non invasivo hanno compiuto passi importanti in termini di miniaturizzazione, accuratezza e comfort d'uso. Ad esempio, i sensori indossabili basati su unità inerziali (accelerometri, giroscopi, magnetometri) consentono di rilevare con elevata precisione il movimento, la postura, l'equilibrio, la velocità di cammino, la presenza di tremori o brusche cadute (Patel et al., 2012; Godfrey et al., 2015). Posizionati su polso, caviglia, vita, torace o collo, permettono di raccogliere in modo continuo dati che descrivono non solo "quanto ci si muove", ma anche "come ci si muove". La posizione del **sensore sul corpo** influenza sia la qualità dei dati sia l'accettabilità. Il polso e la caviglia sono solitamente ben tollerati e si integrano facilmente nelle abitudini quotidiane (braccialetti, orologi, cavigliere), mentre posizioni come torace, vita o coscia garantiscono misurazioni molto accurate in alcune applicazioni, ma possono essere percepite come più invasive o scomode da portare in modo continuativo. L'efficacia del monitoraggio dipende dalla continuità dell'uso, infatti un sensore tecnologicamente sofisticato ma poco tollerato rischia di rimanere in un cassetto dopo pochi giorni.

Accanto ai sensori indossabili, i **sensori ambientali** contribuiscono a completare il quadro. Sensori di presenza, contatti su

porte e finestre, sensori di pressione su letto o poltrona, misuratori di consumo elettrico di elettrodomestici permettono di inferire se la persona si è alzata, quanto tempo trascorre in una stanza, se utilizza regolarmente la cucina, se ci sono risvegli notturni ripetuti o periodi insoliti di inattività.

A queste soluzioni si affiancano **tecnologie di rilevazione non-contact**, come i radar impulsivi a banda ultra-larga (UWB), che non richiedono alla persona di indossare alcun dispositivo (Li et al., 2013; Mercuri et al., 2019). Il radar UWB è in grado di rilevare movimenti e cambi di postura attraverso l'analisi del segnale riflesso dal corpo e, in determinate condizioni, persino di cogliere variazioni legate al respiro o alla tosse (Hämäläinen et al., 2021). Si tratta di strumenti particolarmente interessanti per persone che non tollerano dispositivi indossabili o che presentano deterioramento cognitivo e potrebbero dimenticare di indossarli.

Il valore principale di questi sistemi non risiede nella produzione di allarmi estemporanei, ma **nella capacità di intercettare precocemente segnali deboli di fragilità insorgente**. Una graduale riduzione della velocità di cammino, un aumento delle oscillazioni, la tendenza a passare più tempo seduti o a letto, variazioni nei ritmi sonno-veglia o nei percorsi compiuti dentro casa sono tutti indicatori preziosi, che consentono di attivare valutazioni e interventi prima che si verifichi una caduta o un evento acuto.

Applicazioni cliniche dei sensori

Le possibilità di utilizzo clinico dei sensori indossabili e ambientali sono numerose e ancora in espansione. Nel campo dei **disturbi del movimento**, ad esempio, i dati raccolti permettono di monitorare nel tempo rigidità, bradicinesia, tremori, freezing della marcia, instabilità posturale, fornendo ai clinici informazioni oggettive sulle fluttuazioni giornaliere o settimanali dei sintomi. Questo consente di valutare in modo più fine l'efficacia dei trattamenti farmacologici o di interventi riabilitativi e di calibrare la terapia in modo personalizzato.

Nelle demenze e nelle altre forme di deterioramento cognitivo, **l'osservazione delle abitudini motorie e dei ritmi di attività può aiutare a individuare cambiamenti significativi**: un aumento del vagabondaggio notturno, una riduzione dell'esposizione alla luce naturale, la tendenza a rimanere chiusi in una stanza, un uso irregolare degli spazi domestici (Kaye et al., 2011; Dodge et al., 2013). Tutti questi segnali, se interpretati insieme al quadro clinico complessivo, possono contribuire ad una migliore comprensione dell'evoluzione della malattia e ad una gestione più mirata dei rischi.

Anche in ambito riabilitativo i sensori offrono un valore aggiunto importante. Nei percorsi post-acuti, come dopo una frattura di femore o un ictus, l'analisi dei movimenti e dei parametri di equilibrio consente di monitorare i progressi nel tempo, confrontare i risultati di diversi protocolli riabilitativi, identificare eventuali regressioni e personalizzare gli esercizi. Il feedback oggettivo può inoltre aumentare la motivazione della persona, che vede documentati i miglioramenti ottenuti.

Infine, **l'analisi predittiva del rischio di caduta** rappresenta una fonte di grande interesse. Non si tratta solo di rilevare quando una caduta è avvenuta, ma di identificare pattern che precedono l'evento, come esitazioni, variazioni della lunghezza del passo, perdita di regolarità nei movimenti (Howcroft et al., 2013; Weiss et al., 2014). Integrare questi indicatori con la valutazione clinica e con la conoscenza della persona permette di costruire interventi di prevenzione mirati: modifiche ambientali, programmi di esercizio fisico, rivisitazione della terapia farmacologica, potenziamento del supporto a domicilio.

Tecnologie emergenti e sistemi multimodali

Accanto ai sensori ormai consolidati, si stanno affermando **tecnologie emergenti** che ampliano ulteriormente le possibilità di monitoraggio. Gli smart ring, ad esempio, consentono di rilevare in modo continuo la frequenza cardiaca, la variabilità della frequenza cardiaca, la saturazione dell'ossigeno, la qualità del sonno e talvolta parametri legati alla temperatura cutanea.

Indossati come semplici anelli, risultano spesso discreti e accettabili, e possono contribuire a individuare anomalie cardiache, respiratorie o stati di stress fisico e psicologico.

Le solette intelligenti integrano sensori di pressione che permettono di studiare la distribuzione dei carichi sui piedi, gli spostamenti del centro di pressione e la simmetria dell'appoggio durante la marcia. Questi dati sono fondamentali per valutare l'equilibrio, il **rischio di caduta**, l'efficacia di ortesi, protesi e ausili, e per progettare interventi riabilitativi più mirati.

La tendenza più interessante è quella verso i sistemi multimodali, che combinano sensori indossabili, sensori ambientali, radar non contact e dati clinici o dati auto-riportati. La fusione di informazioni provenienti da fonti diverse consente di ottenere un quadro più robusto e accurato, riducendo il rischio di falsi allarmi e aumentando la capacità di interpretare il contesto.

L'Internet of Things e la casa intelligente assistiva

L'Internet of Things (IoT) applicato alla casa dell'anziano consente di trasformare l'abitazione in un ambiente assistivo attivo (Rashidi & Mihailidis, 2013; Alam et al., 2012). Sensori di gas, fumo, acqua e temperatura, collegati a sistemi di notifica, permettono di rilevare tempestivamente situazioni potenzialmente pericolose e di attivare allarmi verso familiari, vicini o centrali operative. Interruttori intelligenti, prese comandate e termostati smart consentono di adattare luci, riscaldamento e apparecchiature alle esigenze della persona, riducendo sforzi inutili e rischi (ad esempio, salire su una sedia per accendere una luce).

La casa intelligente può supportare anche la gestione della terapia e delle attività quotidiane: promemoria vocali o visivi per l'assunzione di farmaci, routine preconfigurate per la sera o la notte, percorsi luminosi a bassa intensità per andare in bagno senza doversi orientare al buio. Per il caregiver, la possibilità di controllare a distanza alcuni parametri, ad esempio verificare che il riscaldamento sia acceso o che la porta d'ingresso sia chiusa, può ridurre l'ansia e alleggerire il carico emotivo.

Per essere realmente inclusiva, la casa intelligente deve essere progettata con grande attenzione alla semplicità e alla personalizzazione. Un sistema IoT fatto di troppe app diverse, interfacce complesse, notifiche eccessive rischia di essere respingente per l'anziano e ingestibile per i familiari.

Intelligenza artificiale e supporto decisionale

La grande quantità di dati generata da sensori, dispositivi IoT e piattaforme di monitoraggio richiede strumenti adeguati per essere trasformata in **informazioni utili**. L'intelligenza artificiale (AI) svolge qui un ruolo chiave, analizzando pattern, identificando anomalie e stimando rischi in modo automatizzato (Rajkomar et al., 2019; Esteva et al., 2019).

Si possono distinguere, in modo semplificato, tre livelli di applicazione. Il primo è la rilevazione di eventi, riconoscere, ad esempio, una caduta o un'uscita notturna anomala e inviare un allarme tempestivo. Il secondo livello riguarda l'analisi dei trend e consiste nell'osservare l'evoluzione nel tempo di alcuni parametri (passi giornalieri, ore trascorse a letto, qualità del sonno, oscillazioni in piedi) per evidenziare cambiamenti graduali. Il terzo livello è quello predittivo: stimare la probabilità che, in un certo orizzonte temporale, si verifichi un evento critico (una caduta, un peggioramento funzionale, una riacutizzazione).

Per essere utile, l'AI deve produrre indicatori comprensibili dai professionisti. È importante che gli operatori non vedano solo "punteggi di rischio" astratti, ma anche quali variabili li alimentano e con quale grado di affidabilità. La trasparenza degli algoritmi, la validazione clinica e la capacità di spiegare le raccomandazioni sono elementi essenziali per costruire fiducia e per evitare fenomeni di "automazione cieca", in cui si seguono le indicazioni del sistema senza un adeguato spirito critico (Topol, 2019).

Privacy, cybersecurity, etica e accettabilità

L'utilizzo di tecnologie così pervasive nella vita quotidiana delle persone anziane solleva questioni importanti sul piano della privacy, della sicurezza informatica e dell'etica della cura (Mittelstadt et al., 2016). I dati raccolti descrivono non solo lo stato di salute, ma anche le abitudini di vita, i ritmi di sonno, le relazioni, i tempi trascorsi dentro e fuori casa. La gestione di queste informazioni deve rispondere a principi rigorosi di minimo accumulo, trasparenza, protezione e corretto utilizzo.

È necessario progettare sistemi che raccolgano solo i dati realmente indispensabili, li trasmettano in modo cifrato, li conservino in infrastrutture sicure e li rendano accessibili solo a soggetti autorizzati, sulla base di consensi espressi in modo chiaro e comprensibile. Particolare attenzione va posta alle situazioni in cui la capacità di autodeterminazione è ridotta, come nelle demenze, e alle modalità con cui familiari e tutori vengono coinvolti nei processi decisionali.

L'accettabilità da parte delle persone anziane dipende anche da come la tecnologia viene presentata e integrata nella relazione di cura. Strumenti percepiti come "telecamere che controllano" possono generare rifiuto o comportamenti artefatti; dispositivi che invece vengono vissuti come un supporto alla sicurezza e all'autonomia sono più facilmente accolti (Berridge, 2016). La co-progettazione con utenti, caregiver e operatori è, in questo senso, un elemento decisivo.

Modelli organizzativi, competenze e formazione

La tecnologia, da sola, non è in grado di cambiare i modelli di cura, affinché i sistemi di monitoraggio e di supporto decisionale producano benefici reali, è necessario ripensare l'organizzazione dei servizi. Le informazioni raccolte vanno integrate nei flussi di lavoro, nelle responsabilità professionali e nei protocolli assistenziali.

Un possibile modello prevede la presenza di una **"centrale di monitoraggio" territoriale**, in cui infermieri e altri professionisti sanitari seguono i dati di un gruppo di persone fragili a domicilio, gestendo le notifiche, filtrando i falsi allarmi (Omboni et al., 2020), contattando l'anziano o il caregiver in caso di dubbi, attivando visite o valutazioni più approfondite quando necessario. In altri contesti, il monitoraggio può essere integrato direttamente nelle attività dei servizi domiciliari, delle RSA o dei centri diurni, con l'obiettivo di prevenire eventi critici e migliorare la qualità degli interventi.

Perché ciò accada, è indispensabile investire in competenze quali l'alfabetizzazione digitale degli operatori, formazione sull'interpretazione dei dati, capacità di utilizzare dashboard e strumenti di analisi nella pratica quotidiana. È altrettanto importante chiarire le responsabilità: chi guarda i dati, chi decide, in quali tempi, con quali criteri. Senza una chiara cornice organizzativa, il rischio è che i sistemi generino solo la percezione di carichi di lavoro aggiuntivi, confusione e frustrazione.

In questo senso, tra le iniziative più innovative spicca SmartHub, un laboratorio di innovazione territoriale nato per facilitare l'adozione di soluzioni digitali avanzate nei servizi socio?sanitari della Toscana. Supportato da una consolidata partnership pubblico?privata, che coinvolge Università di Firenze, Azienda USL Toscana Centro, Società della Salute di Firenze, Fondazione PIN e Medea S.r.l., SmartHub punta a creare un sistema integrato di tecnologie e servizi per il benessere e la sostenibilità, realizzato in co?progettazione con gli utenti finali. L'obiettivo è trasformare la ricerca in innovazione concreta e accessibile, mettendo al centro le esigenze reali di anziani, caregiver e operatori, con sperimentazioni sul territorio, formazione mirata e diffusione delle best practice.

Impatto sociale ed economico

Le tecnologie di monitoraggio e assistenza hanno un impatto che va oltre la dimensione individuale. Sul piano sociale, possono contribuire a ridurre il senso di solitudine e di insicurezza di molte persone anziane che vivono sole,

offrendo loro un “senso di sicurezza” e la consapevolezza di poter contare su un sistema che si attiva in caso di bisogno. Per i caregiver familiari, la possibilità di avere informazioni affidabili sullo stato del proprio congiunto, senza dover essere fisicamente presenti in ogni momento, può significare una migliore conciliazione tra lavoro, vita personale e responsabilità di cura.

Dal punto di vista dei servizi sanitari e sociali, l’uso mirato di queste tecnologie può contribuire a ridurre accessi impropri al pronto soccorso, ricoveri evitabili dovuti a cadute o riacutizzazioni non intercettate per tempo, utilizzo inefficiente di risorse ad alta intensità assistenziale. Tuttavia, è importante non cadere in un ottimismo ingenuo: i sistemi vanno progettati, implementati e valutati con rigore, tenendo conto dei costi di acquisto, gestione, manutenzione, formazione e aggiornamento.

Esiste infine una dimensione di **equità poiché l’accesso alle tecnologie, alla connettività e alle competenze digitali non è uguale per tutti**. Senza adeguate politiche di sostegno e accompagnamento, il rischio è che gli strumenti più avanzati finiscano per ampliare le disuguaglianze, favorendo chi ha più risorse economiche, sociali e culturali.

Alcuni messaggi per operatori e organi decisionali

Le tecnologie digitali applicate alla cura delle persone anziane rappresentano una grande opportunità per costruire modelli assistenziali più proattivi, personalizzati e sostenibili. Sensori, sistemi di monitoraggio, case intelligenti, algoritmi di intelligenza artificiale e piattaforme di teleassistenza possono contribuire a promuovere autonomia, sicurezza e qualità di vita, a condizione che siano progettati e utilizzati in modo responsabile.

Per gli operatori, questi strumenti possono diventare alleati preziosi, in grado di fornire informazioni oggettive e tempestive, di supportare il giudizio clinico e di migliorare il dialogo con gli anziani e i loro caregiver. Perché ciò accada, è fondamentale essere coinvolti fin dalle fasi di progettazione, partecipare alla definizione dei requisiti e ricevere adeguata formazione.

Per gli organi decisionali e i responsabili dei servizi, la sfida è duplice e consiste da un lato nell’investire in infrastrutture, tecnologie e competenze, dall’altro nel favorire sperimentazioni rigorosamente valutate, capaci di dimostrare quali soluzioni funzionano, per chi, in quali contesti e con quali condizioni. In definitiva, l**’obiettivo non è digitalizzare la cura, ma rendere la cura più umana, più tempestiva e più vicina alle esigenze delle persone anziane e delle loro reti di supporto.** Le tecnologie sono strumenti potenti: il loro valore dipende da come scegliamo di usarle.

L’adozione di strumenti digitali non deve mai tradursi in una diminuzione della relazione di cura. Sensori e algoritmi intelligenti sono utili se diventano alleati per rendere più efficiente e organizzata la presenza umana, non per sostituirla. La tecnologia è un supporto prezioso per operatori, caregiver e familiari: aiuta a cogliere segnali precoci di fragilità, a organizzare interventi mirati e a ridurre il carico emotivo e operativo di chi assiste. Ma resta fondamentale che dietro ogni dispositivo ci sia una rete di persone che ascolta, comprende e interviene. Innovare significa garantire che nessuno resti solo: la tecnologia deve essere ponte, non barriera.

BIBLIOGRAFIA

Beard, J. R., Officer, A., de Carvalho, I. A., et al. (2016). The World report on ageing and health: A policy framework for healthy ageing. *The Lancet, 387*(10033), 2145–2154.

Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet, 381*(9868), 752–762.

Wiles, J. L., Leibing, A., Guberman, N., Reeve, J., & Allen, R. E. S. (2012). The meaning of “aging in place” to older people. *The Gerontologist, 52*(3), 357–366.

Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 9*, 21.

Godfrey, A., Del Din, S., Barry, G., Mathers, J. C., & Rochester, L. (2015). Instrumenting gait with an accelerometer: A system and algorithm examination. *Medical Engineering & Physics, 37*(4), 400–407.

Howcroft, J., Kofman, J., & Lemaire, E. D. (2013). Review of fall risk assessment in geriatric populations using inertial sensors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 10*, 91.

Weiss, A., Herman, T., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2014). Objective assessment of fall risk in Parkinson’s disease using a body-fixed sensor worn for 3 days. *PLoS ONE, 9*(5).

Kaye, J. A., Maxwell, S. A., Mattek, N., et al. (2011). Intelligent systems for assessing aging changes: Home-based, unobtrusive, and continuous assessment of aging. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 66B*(Suppl. 1), i180–i190.

Dodge, H. H., et al. (2013). Unobtrusive measurement of daily computer use to detect mild cognitive impairment. *Alzheimer’s & Dementia, 9*(4), 474–480.

Rashidi, P., & Mihailidis, A. (2013). A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 17*(3), 579–590.

Alam, M. R., Reaz, M. B. I., & Ali, M. A. M. (2012). A review of smart homes—Past, present, and future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C, 42*(6), 1190–1203.

Li, C., Lubecke, V. M., Boric-Lubecke, O., & Lin, J. (2013). A review on recent advances in Doppler radar sensors for noncontact healthcare monitoring. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 61*(5), 2046–2060.

Mercuri, M., et al. (2019). Vital-sign monitoring and spatial tracking of multiple people using a contactless radar-based sensor. *Nature Electronics, 2*, 252–262.

Hämäläinen, L. Mucchi, S. Caputo, L. Biotti, L. Ciani, D. Marabissi, G. Patrizi, “Ultra Wideband Radar based Indoor Activity Monitoring for Elderly Care”, MDPI Sensors, 2021, 21(9), 3158.

Rajkomar, A., Dean, J., & Kohane, I. (2019). Machine learning in medicine. *New England Journal of Medicine, 380*(14), 1347–1358.

Esteva, A., et al. (2019). A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine, 25*, 24–29.

Topol, E. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine, 25*, 44–56.

Mittelstadt, B. D., et al. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. *Big Data & Society, 3*(2).

Berridge, C. (2016). Active subjects of passive monitoring: Responses to a passive monitoring system in low-income independent living. *Ageing & Society, 36*(3), 537–560.

Omboni, S., et al. (2020). Evidence and recommendations on the use of telemedicine for the management of arterial hypertension. *Hypertension, 76*(5), 1368–1383.