



#### KEYWORDS

Exergames, coordinative abilities, neuroplasticity, motor education, motor learning.

# Il ruolo critico degli exergames nello sviluppo e nel potenziamento delle capacità coordinative: evidenze neurofisiologiche e prospettive didattiche

## INTRODUZIONE: LA NECESSITÀ DI NUOVE STRATEGIE MOTORIE

Il declino dell'attività fisica spontanea e l'aumento della sedentarietà in età evolutiva hanno reso imperativo l'identificazione di metodologie didattiche e strumenti innovativi in grado di contrastare tale tendenza e promuovere uno sviluppo motorio armonico. In questo scenario,

gli exergames (l'unione dei termini exercise e videogames) sono emersi come un'alternativa coinvolgente ai tradizionali esercizi motori. Sfruttando tecnologie di rilevamento del movimento (come sensori di profondità, telecamere e pedane propriocettive), gli exergames richiedono al giocatore di eseguire movimenti corporei reali per interagire con l'ambiente virtuale.

l'apprendimento di qualsiasi abilità sportiva o della vita quotidiana. Le fasi sensibili per lo sviluppo delle CC (principalmente tra i 6 e i 12 anni) sono cruciali; pertanto, la qualità degli stimoli motori forniti in questa fascia d'età è determinante per il potenziale motorio futuro.

Questo articolo si propone di andare oltre la semplice constatazione dei benefici motivazionali degli exergames, esplorando:

1. **I meccanismi neurofisiologici** attraverso cui l'interazione digitale influenza l'apprendimento coordinativo.
2. **L'evidenza empirica specifica** per le singole capacità coordinative (equilibrio, orientamento, reazione).

Le capacità coordinative (CC) sono l'insieme dei presupposti funzionali che permettono all'individuo di organizzare, dirigere, controllare e adattare le azioni motorie in modo rapido, preciso ed efficiente (Meinel & Schnabel, 1977). Esse rappresentano i prerequisiti fondamentali per



### Suizzo Marialuisa

Docente incaricato agli insegnamenti di Teoria, tecnica e didattica degli sport individuali e Teoria e metodologia del movimento umano nel Corso di laurea in Scienze Motorie presso Dipartimento di Scienze biomediche e biotecnologiche, Università degli Studi di Catania.

marialuisasuizzo@gmail.com



3. **Le implicazioni didattiche e metodologiche** per una loro integrazione efficace nei curricula di Educazione Fisica (EF).

## LE CAPACITÀ COORDINATIVE: CLASSIFICAZIONE E BASI NEUROFISIOLOGICHE

Le CC sono il risultato di complessi processi di elaborazione delle informazioni che coinvolgono l'integrazione tra sistemi sensoriali (visivo, uditivo, vestibolare, cinestesico) e l'esecuzione motoria, regolati dal SNC. Si distinguono in capacità coordinative generali e capacità coordinative speciali.

### Meccanismi neurofisiologici e apprendimento motorio negli exergames

L'efficacia degli exergames non si limita alla semplice promozione del movimento, ma risiede nella loro capacità unica di agire come stimolatori di precisione sui circuiti neurali che regolano il controllo e l'apprendimento motorio. Questa efficacia è spiegata dall'integrazione di tre principi neurofisiologici e di apprendimento fondamentali: il feedback aumentato, la variabilità contestuale e la stimolazione delle funzioni esecutive.

### Il ruolo critico del feedback aumentato e la plasticità cerebellare

La base di ogni capacità coordinativa è la capacità del Sistema Nervoso Centrale (SNC) di confrontare l'intenzione motoria con il risultato motorio e di apportare correzioni. Questo processo è mediato principalmente dal Cervelletto.

Negli exergames, i sensori di movimento (come telecamere e pedane di bilanciamento) acquisiscono il movimento reale e lo traducono immediatamente in un feedback multimodale (visivo e uditivo) sullo schermo. Questo è il feedback aumentato (o estrinseco).

1. **Generazione dell'Error Signal:** il sistema confronta costantemente il valore nominale (l'obiettivo virtuale, es. colpire il bersaglio con un'angolazione precisa) con il valore reale (il movimento eseguito). La discrepanza, l'error signal, viene trasmessa al cervelletto.

2. **Apprendimento per adattamento:** il cervelletto utilizza questo error signal per generare correzioni predittive. Quando il feedback è immediato e preciso, come negli exergames, la plasticità cerebellare

viene massimizzata. Il sistema impara a pre-programmare il movimento successivo per minimizzare l'errore, migliorando così la Capacità di Differenziazione Cinestesica (la capacità di dosare forza, tempo e spazio del movimento) e il controllo motorio fine. In sintesi, il loop rapidissimo e oggettivo di input-processo-output tipico degli exergames velocizza l'acquisizione delle generalized motor programs (GMPs) nel SNC.

### Variabilità della pratica e arricchimento del repertorio motorio

L'apprendimento motorio non è solo una questione di ripetizione, ma di variabilità. Secondo la teoria dello Schema di Schmidt, per sviluppare abilità trasferibili, è necessario praticare un compito in condizioni variabili.

Gli exergames eccellono nel fornire questa pratica variata attraverso due meccanismi:

1. **Manipolazione dei parametri del compito:** un gioco di simulazione sportiva può modificare istantaneamente la velocità del proiettile, la distanza, il ritmo o il contesto ambientale (es. un campo di gioco che si muove).

### Classificazione delle capacità coordinative speciali

Secondo la classificazione didattica più accettata, le CC speciali comprendono:

Capacità coordinativa	Definizione funzionale	Base neurofisiologica prioritaria
CAPACITÀ DI EQUILIBRIO	MANTENERE O RIPRISTINARE LA POSIZIONE CORPOREA CONTRO LA FORZA DI GRAVITÀ.	SISTEMA VESTIBOLARE, SENSORI CINESTESICI (FUSI NEUROMUSCOLARI), AFFERENZE VISIVE.
CAPACITÀ DI ORIENTAMENTO SPAZIO-TEMPORALE	MODIFICARE POSIZIONE E MOVIMENTO IN RELAZIONE A OGGETTI IN MOVIMENTO E AL CAMPO D'AZIONE.	ANALIZZATORE VISIVO, CORTECCIA PARIETALE (ELABORAZIONE SPAZIALE), CORTECCIA PREMOTORIA.
CAPACITÀ DI REAZIONE	INIZIARE RAPIDAMENTE UN'AZIONE MOTORIA ADEGUATA A UNO STIMOLO.	SISTEMA DI ELABORAZIONE CENTRALE (TEMPO DI REAZIONE CENTRALE), VIA CORTICO-SPINALE.
CAPACITÀ DI RITMO	ORGANIZZARE IL MOVIMENTO SECONDO UNA STRUTTURA TEMPORALE (ESTERNA O INTERNA).	GANGLI DELLA BASE, CORTECCIA MOTORIA SUPPLEMENTARE (PROGRAMMAZIONE TEMPORALE).
CAPACITÀ DI DIFFERENZIAZIONE CINESTESICA	REALIZZARE UNA FINE MODULAZIONE DEI PARAMETRI DI FORZA, TEMPO E SPAZIO (PRECISIONE).	AFFERENZE CINESTESICHE, CORTECCIA CERESELLARE (CORREZIONE DEGLI ERRORI).
CAPACITÀ DI ADATTAMENTO E TRASFORMAZIONE	MODIFICARE UN PIANO MOTORIO IN CORSO D'OPERA IN RISPOSTA A CAMBIAMENTI IMPREVISTI.	LOBI FRONTALI (FUNZIONI ESECUTIVE), LOOP CEREBELLO-TALAMO-CORTICALE.



Questa variabilità contestuale costringe il sistema motorio a:

- Ricalibrare continuamente il GMP esistente.
- Aggiornare i parametri specifici (spazio e tempo) in modo dinamico.

**2. Sollecitazione dell'orientamento spazio-temporale:** I compiti che richiedono di muovere il corpo in relazione a stimoli visivi mutevoli (ad esempio, evitare ostacoli che appaiono casualmente) stimolano intensamente i lobi parietali. Questa area cerebrale è cruciale per l'integrazione multisensoriale e la percezione dello spazio. La costante ricalibrazione della posizione corporea rispetto all'ambiente virtuale potenzia la capacità di orientamento spazio-temporale in modo più dinamico rispetto a molte esercitazioni tradizionali statiche.

**L'interazione cognitivo-motoria: funzioni esecutive e adattamento**

Le capacità coordinative più complesse, come la capacità di reazione e la capacità di adattamento e trasformazione, hanno una forte componente cognitiva, legata alle Funzioni Esecutive (FE) gestite principalmente dai lobi frontali.

Gli exergames stimolano le FE e, di conseguenza, le CC in quanto sono intrinsecamente basati su:

- **Reazione e Inibizione:** Molti giochi richiedono una risposta motoria rapidissima a stimoli improvvisi (migliorando la Capacità di Reazione complessa) e spesso la necessità di inibire un movimento in corso per iniziarne uno nuovo (migliorando l'Inibizione e la Flessibilità Cognitiva).
- **Dual-Tasking:** L'interazione exergame spesso richiede l'esecuzione

simultanea di un compito motorio (es. mantenere l'equilibrio) e di un compito cognitivo (es. prendere una decisione basata sul punteggio o sullo stimolo).

Questo dual-tasking è un potente allenamento per la corteccia prefrontale, che migliora l'efficienza con cui il SNC gestisce risorse limitate sotto pressione. L'allenamento su questi compiti complessi è direttamente collegato al potenziamento della capacità di adattamento e trasformazione del movimento.

**3. Evidenza empirica sull'impatto delle capacità coordinative speciali**  
L'analisi dei trial clinici randomizzati (RCT) e delle revisioni sistematiche fornisce un quadro solido sull'impatto degli exergames sulle diverse CC.



### **Potenziamento della capacità di equilibrio**

La maggior parte della ricerca sull'Exergaming ha evidenziato un impatto positivo sull'equilibrio. Dispositivi che utilizzano pedane di bilanciamento (ad esempio, la Wii Balance Board) costringono i partecipanti a continui aggiustamenti posturali per mantenere l'interazione di gioco.

● **Evidenza:** numerosi studi, specialmente in bambini in età scolare, hanno riscontrato miglioramenti significativi nelle misurazioni di equilibrio statico e dinamico (Pacheco et al., 2020). L'efficacia è spesso paragonabile o superiore a quella di interventi motori non digitali di pari durata, in parte grazie all'elevato compliance dei partecipanti.

### **Sviluppo della capacità di orientamento spazio-temporale**

I giochi che simulano sport di situazione (calcio, tennis, pugilato virtuale) o che richiedono l'interazione con oggetti in movimento sullo schermo, sono eccellenti stimolatori di questa capacità.

● **Evidenza:** l'interazione con il campo visivo in 3D (o 2D con percezione di profondità) degli exergames migliora l'abilità di percepire e valutare la velocità, la direzione e la posizione di un oggetto esterno, e di adattare i propri movimenti di conseguenza. Questo è particolarmente vero per le piattaforme che utilizzano sensori a corpo libero (es. Kinect), che richiedono movimenti ampi e integrati di tutti i segmenti corporei.

### **Affinamento della capacità di reazione e differenziazione**

La reazione è una CC fortemente legata all'efficienza del processo decisionale e alla velocità di esecuzione motoria. La sua allenabilità, pur limitata, può essere stimolata da exergames con stimoli visivi a sorpresa e ritmi elevati.

● **Evidenza:** sebbene l'impatto sul tempo di reazione puro (tempo neurale) sia modesto, gli exergames migliorano il tempo di reazione complesso (reazione + scelta della risposta) e la capacità di differenziazione cinestesica. I gamers devono dosare con pre-

cisione la forza e l'ampiezza del gesto (differenziazione) e rispondere a stimoli variabili (reazione) per ottenere il punteggio massimo, affinando la programmazione motoria.

### **Efficacia nelle popolazioni cliniche**

Gli exergames hanno dimostrato un valore aggiunto nelle popolazioni con difficoltà motorie:

● **Disturbo della Coordinazione dello Sviluppo (DCD - Development):** offrendo un ambiente sicuro, motivante e strutturato, gli exergames riducono l'ansia da prestazione e il senso di inadeguatezza, tipici dei bambini con DCD, favorendo un engagement prolungato che porta a effettivi miglioramenti nella coordinazione occhio-mano e nell'equilibrio.

● **Riabilitazione neurologica:** in pazienti con patologie come il morbo di Parkinson, gli exergames basati sulla realtà virtuale hanno mostrato risultati promettenti nel migliorare la deambulazione, l'equilibrio posturale e le funzioni cognitive correlate al movimento.





## INTEGRAZIONE DIDATTICA E PROSPETTIVE CURRICOLARI

Nonostante i benefici, l'introduzione degli exergames nel contesto scolastico e sportivo solleva interrogativi di natura pedagogica e metodologica. L'efficacia non è insita nel dispositivo, ma nel protocollo di intervento e nell'integrazione curricolare.

### Modello di integrazione curricolare bilanciata

L'approccio più efficace non è la sostituzione, ma l'integrazione del digitale con le metodologie tradizionali (Blended Learning Motorio).

Metodo di Integrazione	Obiettivo pedagogico	Vantaggi
ROTAZIONE STRUTTURATA (STAZIONI)	ALTERNANZA TRA ATTIVITÀ TRADIZIONALE (ES. CIRCUITO MOTORIO) E EXERGAMES.	MANTENIMENTO DELLA MOTIVAZIONE; APPLICAZIONE IMMEDIATA DELLE CC ACQUISITE IN ENTRAMBI I CONTESTI.
POTENZIAMENTO MIRATO	UTILIZZO DEGLI EXERGAMES PER LA SINGOLA CC (ES. EQUILIBRIO CON PEDANA) IN SESSIONI DEDICATE.	CONCENTRAZIONE SULL'OBIETTIVO SPECIFICO; FACILITÀ DI MISURAZIONE E FEEDBACK OGGETTIVO.
RECUPERO/INCLUSIONE	USO DEGLI EXERGAMES PER STUDENTI CON BASSE ABILITÀ MOTORIE O RETICENTI.	AMBIENTE NON GIUDICANTE; AUMENTO DELL'AUTOEFFICACIA E DELL'ACCETTAZIONE DELL'ATTIVITÀ FISICA.

### Sfide didattiche e requisiti per la validità

Per superare i limiti degli exergames commerciali e assicurare una solida base didattica, è cruciale considerare:

1. **La formazione per i docenti:** è indispensabile che i docenti di Educazione fisica ricevano una formazione specifica sull'utilizzo pedagogico delle tecnologie, imparando a selezionare exergames con un forte contenuto motorio e a strutturare compiti che promuovano un apprendimento significativo.

2. **La qualità del movimento vs punteggio:** la didattica deve spostare il focus dal punteggio virtuale **all'efficacia e all'economia del gesto reale**. L'insegnante deve supervisionare e fornire feedback qualitativo (cinestesico) complementare a quello quantitativo (digitale).

3. **Problema del trasferimento** (transfer of learning): Il miglioramento in ambiente virtuale non è sempre sinonimo di miglioramento in ambiente reale. Protocolli efficaci devono prevedere attività di "ponte" (trasferimento) che richiedano l'applicazione delle CC potenziate dagli exergames in contesti sportivi o di gioco non digitali.

### CONCLUSIONI

Gli exergames sono molto più di semplici strumenti per combattere la sedentarietà; sono potenti tool per la stimolazione mirata dei sistemi neurofisiologici che sostengono le capacità coordinative. La loro efficacia è supportata da evidenze che ne attestano il ruolo nel miglioramento dell'equilibrio, dell'orientamento spazio-temporale e della reazione, grazie alla

capacità unica di fornire feedback immediato e di massimizzare l'impegno cognitivo e motorio.

Per garantire che questa innovazione non si traduca in una moda passeggera, è fondamentale adottare un approccio scientifico e metodologico rigoroso. L'integrazione degli exergames nel curriculum di Educazione fisica deve essere consapevole, strutturata e finalizzata a obiettivi di apprendimento motorio chiaramente definiti, sotto la guida esperta di professionisti del movimento.

Solo così gli exergames potranno esprimere appieno il loro potenziale nel plasmare il sistema motorio delle future generazioni, contribuendo in modo significativo allo sviluppo della loro physical literacy.



ABSTRACT

Exergames (active video games) represent a significant technological and didactic frontier with a growing impact on Physical Education (PE) and rehabilitation. This manuscript offers an in-depth review and critical analysis of their specific role in the development and enhancement of Coordinative Abilities (CAs). CAs, a cornerstone of motor learning, are intrinsically dependent on the functionality and plasticity of the Central Nervous System (CNS). Neurophysiological analysis demonstrates that the interactive and immediate feedback nature of exergames stimulates the sensory-motor and cognitive circuits essential for refining balance, spatiotemporal orientation, reaction time, and rhythm. The empirical review, focused on both typically developing children and populations with Developmental Coordination Disorder (DCD), supports the efficacy of exergames as a motivating and measurable complement to traditional training. Specifically, their capacity to leverage principles of motor learning, such as variability of practice and augmented feedback, accelerates the process of motor automation. Finally, a model for the curricular integration of exergames is outlined, emphasizing the necessity of specific, targeted protocols to ensure pedagogical validity and the successful transfer of acquired skills to real-world, non-digital contexts.

BIBLIOGRAFIA

1. Benzing, J., & Schmidt, M. (2018). Exergaming for children and adolescents: Strength, weakness, opportunities and threats. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1489.
2. McAuley, K., et al. (2014). The effect of exergaming on balance and motor skills in children with developmental coordination disorder (DCD): A pilot study. *Physical Therapy*, 94(12), 1774-1785.
3. Meinel, K., & Schnabel, G. (1977). *Teoria del movimento: pedagogia e metodologia dello sport*. Società Stampa Sportiva.
4. Pacheco, T., et al. (2020). Effectiveness of exergames for improving mobility and balance in children and adolescents: an evidence-based study. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(6), 3326-3333.
5. Raiola, G., & Di Tore, P. A. (2012). Exergaming: un'analisi critica del loro impatto sull'educazione motoria. *Journal of Sports Sciences*, 2(1), 3-10.
6. Salmon, J., et al. (2007). Are active video games an adequate replacement for physical activity in children? *Pediatric Exercise Science*, 19(2), 167-183
7. Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2014). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human Kinetics.
8. Sheehan, E. J., & Katz, S. (2013). The use of exergames in physical education for the enhancement of balance abilities in primary school children. *Journal of Physical Education and Sport*, 13(4), 543-548. (Riferimento implicito nei risultati di ricerca).
9. Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.).
10. Taylor, M. J., et al. (2017). The effects of exergaming on motor skills and physical fitness in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(16), 1547-1563

