

Proceedings

Innovazione interdisciplinare nell'ingegneria

Ramos-Escamilla, María. PhD



PIREQA®

Coordinatori

Ramos-Escamilla, María. PhD

Caporedattore

Vargas-Delgado, Oscar. PhD

Direttore esecutivo

Trejo-Ramos, Diego. BsC

Direttore editoriale

Peralta-Castro, Enrique. MsC

Web designer

Escamilla-Bouchan, Imelda. PhD

Diagrammatore web

Luna-Soto, Vladimir. PhD

Assistente editoriale

Rosales-Borbor, Eleana. BsC

Filologa

Ramos-Arancibia, Alejandra. BsC

ISBN: 978-607-8948-70-3

Marchio editoriale PIREQA: 607-8948

Numero di controllo PIINI: 2025-01

Classificazione PIINI [2025]: 301125-0101

© PIREQA

Capital Park San Angel - Venue. 1225, Revolución Avenue, Los Alpes, Álvaro Obregón, CP-01010- Città del Messico.

Nessuna parte di questo documento protetto dalla legge federale sul diritto d'autore può essere riprodotta, trasmessa o utilizzata in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, sia esso grafico, elettronico o meccanico, inclusi, ma non limitati a: citazioni in articoli e commenti bibliografici di compilazione di dati giornalistici radiofonici o elettronici. Ai fini degli articoli 13, 162, 163 sezione I, 164 sezione I, 168, 169, 209 sezione III e altri relativi alla Legge Federale sul Diritto d'Autore. Violazioni: essere soggetti a procedimento penale ai sensi della legge messicana sul copyright. L'uso di nomi descrittivi generici, nomi registrati, marchi o nomi commerciali in questa pubblicazione non implica, in assenza di una dichiarazione specifica, che tali nomi siano esenti dalla protezione prevista dalle leggi e dai regolamenti messicani e quindi liberamente utilizzabili dalla comunità scientifica internazionale. PIINI fa parte dei media di PIREQA [www.pireqa.org]. Pubblicato da PIREQA-Messico. Tutti i diritti riservati.

Opere derivate: gli utenti possono riprodurre indici o preparare elenchi di capitoli includendo sintesi per la circolazione interna all'interno delle loro istituzioni o aziende. Ad eccezione dei capitoli pubblicati con licenza CC BY.

Archiviazione o utilizzo: salvo quanto sopra indicato o stabilito nella relativa licenza d'uso, nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, archiviata in un sistema di recupero o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, sia esso elettronico, meccanico, fotocopia, registrazione o altro, senza il previo consenso scritto dell'editore.

Gli autori. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding México per conto di Proceedings PIINI. Questo è un manuale ad accesso libero sotto licenza CC BY-NC-ND. [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Proceedings

Definizione di Proceedings

Obiettivi scientifici

Supportare la comunità scientifica internazionale nella produzione scritta di scienza, tecnologia e innovazione nelle aree di ricerca SECIHTI e PRODEP

PIREQA-Mexico è un'azienda scientifica e tecnologica che contribuisce alla formazione delle risorse umane incentrata sulla continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale ed è affiliata al RENIECYT del SECIHTI con il numero 1702902. Il suo impegno è quello di diffondere le ricerche e i contributi della comunità scientifica internazionale, delle istituzioni accademiche, degli organismi e delle entità del settore pubblico e privato e di contribuire al collegamento dei ricercatori che svolgono attività scientifiche, sviluppi tecnologici e formazione di risorse umane specializzate con i governi, le imprese e le organizzazioni sociali.





Incoraggiare il dialogo della comunità scientifica internazionale con altri centri di studio in Messico e all'estero e promuovere un'ampia partecipazione di accademici, specialisti e ricercatori alla pubblicazione *Seriada en Nichos de Ciencia de Universidades Autónomas - Universidades Públicas Estatales - IES Federales - Universidades Politécnicas - Universidades Tecnológicas – Institutos Tecnológicos Federales - Escuelas Normales - Institutos Tecnológicos Descentralizados – Universidades Interculturales - Consigli di Scienza e Tecnologia - Centri di Ricerca SECIHTI*

Portata, copertura e pubblico




Proceedings è un prodotto edito da PIREQA-Mexico nella sua holding con archivio in Messico, è una pubblicazione scientifica arbitrata e indicizzata. Accetta un'ampia gamma di contenuti che vengono valutati da pari accademici con il metodo del doppio cieco, su temi relativi alla teoria e alla pratica delle aree di ricerca SECIHTI e PRODEP rispettivamente, con approcci e prospettive diverse, che contribuiscono alla diffusione dello sviluppo della scienza, della tecnologia e dell'innovazione, consentendo argomentazioni relative al processo decisionale e influenzando la formulazione delle politiche internazionali nel campo delle scienze. L'orizzonte editoriale di PIREQA-Mexico® si estende oltre l'ambito accademico e integra altri segmenti di ricerca e analisi estranei a tale ambito, purché soddisfino i requisiti di rigore argomentativo e scientifico, oltre ad affrontare temi di interesse generale e attuale per la comunità scientifica internazionale.

Comitato editoriale

Castillo - Téllez, Beatriz. PhD

 Universidad de Guadalajara, CUNorte •  S-2264-2018 •  0000-0003-3747-6320 •  210564





Cercado - Quezada, Bibiana. PhD

 Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S.C. •  M-6312-2013 •  0000-0003-4760-5114 •  90675




Fernandez - Zayas, José Luis. PhD

 Universidad Nacional Autónoma de México •  AAJ-5625-2021 •  0000-0002-9914-6709 •  1568





Hernandez - Escobedo, Quetzalcoatl Cruz. PhD

 Universidad Veracruzana •  P-2638-2019 •  0000-0002-2981-7036 •  220140


Rivas - Perea, Pablo. PhD

 Marist College, NY. USA •  J-4894-2019 •  0000-0002-8690-0987





Rocha - Rangel, Enrique. PhD

 Universidad Politécnica de Victoria •  C-8709-2018 •  0000-0001-8654-3679 •  21235

Rodríguez - Morales, José Alberto. PhD

 Universidad Autónoma de Querétaro •  0009-0002-1104-6920 •  200320




Vazquez - Martinez, Ernesto. PhD

 Universidad Autónoma de Nuevo León •  R-8561-2018 •  0000-0002-5350-2421 •  12465

Vega - Pineda, Javier. PhD




 Instituto Tecnológico de Chihuahua •  JGD-5909-2023 •  0000-0003-4796-9639

Rodriguez - Robledo, Gricelda. PhD





 Universidad Tecnológica de Morelia •  0000-0002-8262-3230 •  949474

Comitato arbitrale

Castillo - Quiñones, Javier Emmanuel. PhD

 Universidad Autónoma de Baja California •  0000-0002-2478-3375 •  228521





Chávez-Lugo, Pedro. PhD

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo •  JMR-0073-2023 •  0000-0002-1681-3503 •  44921





Flores - Ramírez, Oscar. PhD

 Universidad Politécnica de Amozoc •  0000-0002-9780-937X •  92914

Gómez - Mercado, Abdiel. PhD

 Instituto Tecnológico de Pachuca •  P-7684-2018 •  0000-0002-7598-7570 •  58742

Hernández - Gómez, Víctor Hugo. PhD

 Universidad Nacional Autónoma de México •  S-6575-2018 •  0000-0001-9315-5869 •  122247





Herrera - Romero, José Vidal. PhD

 Universidad Veracruzana •  0000-0001-9462-0160 •  163163

Mejias - Brizuela, Nildia Yamileth. PhD

 Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica •  0000-0003-2973-473X •  253092




Pérez - Robles, Juan Francisco. PhD

 Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico •  B-8421-2016 •  0000-0001-9738-6795 •  3240

Aguilar - Virgen, Quetzalli. PhD

 Universidad Autónoma de Baja California •  K-2317-2017 •  0000-0002-4514-760X

Ramírez - Coutiño, Víctor Ángel. PhD

 Universidad Tecnológica de Querétaro •  0000-0003-2510-2030 •  212480

Cessione dei diritti

L'invio di un lavoro scientifico a PIREQA Proceedings comporta l'impegno da parte dell'autore a non sottoporlo contemporaneamente all'esame di altre pubblicazioni scientifiche; a tal fine, dovrà compilare il Modulo di originalità per il proprio lavoro scientifico.

Gli autori firmano il Modulo di autorizzazione affinché il loro lavoro scientifico sia diffuso attraverso i mezzi

che PIREQA-México, S.C. nella sua Holding México ritiene pertinenti per la divulgazione e la diffusione del loro lavoro scientifico, cedendo i loro diritti sul lavoro scientifico.

Dichiarazione di paternità

Indicare il nome di 1 autore e 3 coautori al massimo nella partecipazione all'opera scientifica e specificare per esteso l'affiliazione istituzionale indicando l'ente.

Identificare il nome di 1 autore e 3 coautori al massimo con il numero CVU Becario-PNPC o SNI-SECIHTI, indicando il livello di ricercatore e il profilo Google Scholar per verificare il livello di citazione e l'indice H.

Identificare il nome di 1 autore e 3 coautori al massimo nei profili di scienza e tecnologia ampiamente accettati dalla comunità scientifica internazionale ORC ID - Researcher ID Thomson - arXiv Author ID - PubMed Author ID - Open ID rispettivamente

Indicare il contatto per la corrispondenza con l'autore [e-mail e telefono] e indicare il ricercatore che contribuisce come primo autore dell'opera scientifica

Rilevamento del plagio

Tutte le opere scientifiche saranno sottoposte al test antiplagio PLAGSCAN. Se verrà rilevato un livello di plagio positivo, l'opera non sarà inviata in arbitrato e la sua accettazione sarà revocata, con notifica agli autori responsabili e segnalazione che il plagio accademico è considerato reato dal Codice Penale.

Procedimento arbitrale

Tutte le opere scientifiche saranno valutate da pari accademici con il metodo del doppio cieco. L'approvazione è un requisito necessario affinché il Comitato Editoriale possa prendere una decisione definitiva che sarà inappellabile in tutti i casi. MARVID® è un marchio derivato da PIREQA® specializzato nel fornire agli esperti valutatori, tutti in possesso di un dottorato di ricerca e distinti ricercatori internazionali nei rispettivi Consigli di Scienza e Tecnologia, l'omologo della SECIHTI per i capitoli America-Europa-Asia-Africa e Oceania. L'identificazione dell'autore deve apparire solo su una prima pagina eliminabile, al fine di garantire che il processo di arbitrato sia anonimo e copra le seguenti fasi: Identificazione dei PIREQA Proceedings con il loro tasso di occupazione autoriale - Identificazione degli autori e dei coautori - Rilevamento del plagio PLAGSCAN - Revisione dei moduli di autorizzazione e originalità - Assegnazione al comitato editoriale - Assegnazione della coppia di arbitri esperti - Notifica del verdetto - Dichiarazione delle osservazioni all'autore - Confronto dell'opera scientifica modificata per la pubblicazione – Pubblicazione.

PIREQA Innovazione interdisciplinare nell'ingegneria

Volume I

Il Proceedings offrirà contributi selezionati da ricercatori che contribuiscono all'attività di divulgazione scientifica di PIREQA-MÉXICO nei suoi settori di ingegneria. Oltre a una valutazione completa, a cura dei coordinatori di PIREQA-MÉXICO, della qualità e della puntualità dei capitoli, ogni singolo contributo è stato valutato secondo standard internazionali [V|LEX, RESEARCH GATE, MENDELEY, GOOGLE SCHOLAR, REDIB e EBSCO], gli atti propongono così alla comunità accademica relazioni recenti sui nuovi progressi nelle aree più interessanti e promettenti dell'ingegneria.

Innovazione interdisciplinare nell'ingegneria T-I

Proceedings

Coordinatore

Ramos-Escamilla, María. PhD

PIREQA-Mexico

Novembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.1.100>



Introduzione

Noi di PIREQA® siamo affiliati al RENIECYT-SECIHTI / 1702902 e integrati nel Sistema Nazionale dei Ricercatori –SNI- ai Livelli I-II e III nelle aree di Fisica Matematica e Scienze della Terra -Biologia e Chimica- Medicina e Scienze della Salute- Scienze Umanistiche e Comportamentali- Scienze Sociali - Biotecnologia e Scienze Agrarie e Ingegneria. Siamo consapevoli che per costruire l'Identità Digitale Scientifica degli Autori in Messico, dobbiamo aumentare l'assegnazione ottimale della produzione scientifica, tecnologica e dell'innovazione per soddisfare le esigenze del Paese. Stabilire le istanze e i meccanismi di coordinamento con i governi delle entità federali, nonché di collegamento e partecipazione della comunità scientifica e accademica delle istituzioni di istruzione superiore, dei settori pubblico, sociale e privato per la generazione e la formulazione di politiche di promozione, diffusione, sviluppo e applicazione della scienza nelle aree prioritarie del Messico.

Promuovere lo sviluppo, il collegamento e la diffusione della ricerca scientifica derivante dalle attività di ricerca di base e applicata, lo sviluppo tecnologico di qualità e l'innovazione, associati all'aggiornamento e al miglioramento dell'istruzione e all'espansione dei confini della conoscenza, avvalendosi delle nuove tecnologie dell'informazione, secondo l'ordine di priorità e l'indicizzazione scientifica internazionale. È per questo che presentiamo i risultati del nostro Tour Nazionale in occasione del nostro Decimo Anniversario del capitolo Messico, facendo scienza, tecnologia e innovazione in tutta la Repubblica Messicana in modo libero, critico e gratuito.

*María, Ramos-Escamilla. PhD
CEO-PIREQA-Mexico*




Contenuto	Pag
<p>1 Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [<i>Agave marmorata</i>] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla López-Vigil, Miriam Silvia, Gómez-Flores, Nidia Esther, Santos-Alvarado, Héctor e Islas-Torres, Héctor</p>	1-7
<p>2 Contenuto di clorofilla nelle piante di mais ottenute da semi trattati con plasma ad aria a bassa pressione Sosa-Galindo, Daniel, Castillo-Gutiérrez, Antonio, Fuentes-Albarrán, María del Carmen e Alarcón-Hernández, Fidel Benjamín</p>	8-19
<p>3 Analisi e calcolo delle impedenze di sequenza delle linee di trasmissione sotterranee Aguilar-Marin, Jorge Luis, Cisneros-Villalobos, Luis, Sánchez-Jaime, Jorge e Vera-Dimas, José Gerardo</p>	20-34
<p>4 Effetto del processo di cottura sui pezzi ceramici decorativi stampati con produzione additive Hernández-Hernández, Celia Massiel, Melo-Máximo, Lizbeth, Melo-Máximo, Dulce Viridiana e Vega-Morón, Roberto Carlos</p>	35-42
<p>5 Identificazione di germoplasma di mais [<i>Zea mays</i> L.] tollerante alle principali malattie nell'area tropicale nel sud-est del Messico Sierra-Macías, Mauro, Becerra-Leor Enrique Noé, Gómez-Montiel, Noel Orlando e Espinosa-Calderón Alejandro</p>	43-56
<p>6 L'intelligenza artificiale garantisce la qualità nei sistemi di produzione? Muñoz-Hernandez, Raquel</p>	57-62
<p>7 Prestazioni termiche dei dissipatori di calore commerciali utilizzati con i moduli Peltier: effetto della distanza tra le alette e della convezione Alvarado-Juárez, Roberto, Rivera-Hernández, David Antonio, Guzmán-Cortes, Jhonatan Alberto e Rodríguez-Brito, Diana Isabel</p>	63-76
<p>8 L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nello sviluppo dei sistemi informativi nelle aziende it, vantaggi e sfide giuridiche: una prospettiva Costa Ricana Echandi-Pacheco, Rodolfo</p>	77-88
<p>9 Applicazione dei modelli di apprendimento automatico per la classificazione delle malattie che richiedono il ricovero ospedaliero: un approccio basato sul NOM-035 e sull'economia sociale e solidale in Messico Lara-Escamilla, Samuel, Rodríguez-Molina, Alejandro, Rueda-Gutiérrez, Allan Balam e Salazar-Cano, Nellie Cecilia</p>	89-100





Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla





Estudio de adsorción en Carbón Activado elaborado a partir de bagazo del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] de Zapotitlán Salinas, Puebla

López-Vigil, Miriam Silvia *^a, Gómez-Flores, Nidia Esther^b, Santos-Alvarado, Héctor^c e Islas-Torres, Héctor^d

^a  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  AIE-6933-2022 •  0000-002-7424-0109 •  300532

^b  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  NSU-9258-2025 •  0009-0004-6289-7180

^c  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  LNR-3679-2024 •  0000-0001-6504-7190 •  621174

^d  Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán •  LNR-4392-2024 •  0000-0003-2884-868X •  625375

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.1.7>

Area: Ingegneria

Settore: Ingegneria industriale

Disciplina: Controllo qualità

Sottodisciplina: Caratterizzazione delle risorse naturali.

Punti chiave del manuale

Il presente lavoro descrive uno studio sulle caratteristiche di adsorbimento di un carbone attivo prodotto dalla bagassa di Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] della regione di Zapotitlán Salinas, Puebla, Messico. La bagassa di maguey è un residuo agricolo prodotto nei processi di ottenimento della tequila e del mezcal, il cui utilizzo per la produzione di un prodotto di alto valore commerciale come il carbone attivo costituisce un'alternativa sostenibile e di economia circolare. L'*Agave marmorata* presenta una variabilità naturale propria delle condizioni geografiche del suo habitat, delle condizioni ambientali, dell'adattamento e della differenziazione genetica, tra gli altri fattori, pertanto, inizialmente è stata effettuata una caratterizzazione morfologica, fisica e chimica della specie in studio [López-Vigil, et al., 2024] per poi condurre studi sullo sfruttamento delle sue potenzialità, come l'ottenimento di carbone attivo. A livello di laboratorio è stato ottenuto carbone attivo utilizzando due metodi di attivazione, attivazione fisica e attivazione chimica, utilizzando come agente attivatore il carbonato di potassio anidro in due livelli di concentrazione, 40% e 60%, seguito dallo studio delle sue proprietà di adsorbimento, che vengono presentate in questo lavoro. La ricerca è stata sviluppata nel Laboratorio di Ingegneria Ambientale del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán e condotta dai membri del Corpo Accademico ITTEH-CA-2 Gestione e Competitività Aziendale nell'ambito dello sviluppo del progetto di ricerca "Applicazioni sostenibili e pertinenti del Maguey Pitzometl [*Agave Marmorata*], Risorsa Endemica e Importante della Regione di Zapotitlán Salinas Puebla", Codice 23734.25-P.

Area: Advocacy e attenzione ai problemi nazionali

Citazione: López-Vigil, Miriam Silvia, Gómez-Flores, Nidia Esther, Santos-Alvarado, Héctor e Islas-Torres, Héctor. 2025. Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [*Agave marmorata*] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla. 1-7. PIREQA.

* ✉ [\[miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx\]](mailto:miriamsilvia.lv@tehuacan.tecnm.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



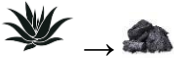
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

La bagassa di maguey è il residuo fibroso ottenuto dopo l'estrazione dei succhi zuccherini dal cuore dell'agave [ananas] durante la produzione di mezcal e tequila. Si stima che per ogni litro di mezcal o tequila prodotto, vengano generati tra i 2 e i 5 kg di bagassa umida [Soto-Cruz et al., 2017]. Questi scarti sono composti principalmente da cellulosa, emicellulosa e lignina, oltre che da composti organici residui e ceneri. Il loro accumulo rappresenta un problema ambientale e di gestione dei rifiuti nelle regioni produttrici. Questo studio espone la valorizzazione come materia prima della bagassa di Maguey Pitzometl della regione di Zapotitlán Salinas Puebla, in Messico, per ottenere carbone attivo, un prodotto a valore aggiunto che rappresenta una strategia di economia circolare e sostenibilità ambientale.

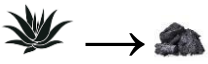
Studio dell'adsorbimento nel carbone attivo ricavato dalla bagassa del Maguey Pitzometl [Agave marmorata] proveniente da Zapotitlán Salinas, Puebla		
Obiettivo	Metodologia	Contributo
<p>Valutare le caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo ottenuto dalla bagassa di Maguey Pitzometl.</p> 	<p>Definizione del disegno unifattoriale, preparazione della soluzione standard, preparazione delle prove sperimentali in triplicato per ciascun livello del fattore da valutare, sviluppo sperimentale, analisi dei risultati.</p>	<p>Le caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo prodotto dalla bagassa di Maguey Pitzometl sono state valutate con un disegno unifattoriale con variabile di risposta % di adsorbimento del blu di metilene del fattore Carbone Attivo [CA] con 4 livelli: CA commerciale, CA prodotto per attivazione fisica, CA prodotto per attivazione chimica al 40% di attivatore e CA prodotto per attivazione chimica al 60% di attivazione. Il CA oggetto dello studio non presenta differenze statisticamente significative nelle caratteristiche di adsorbimento rispetto al CA commerciale.</p>

Carbone attivo, Adsorbimento, Bagassa, Agave marmorata

Resumen

El bagazo de maguey es el residuo fibroso que se obtiene tras la extracción de los jugos azucarados del corazón del agave [piña] durante la producción de mezcal y tequila. Se estima que por cada litro de mezcal o tequila producido se generan entre 2 y 5 kg de bagazo húmedo [Soto-Cruz et al., 2017]. Este residuo está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, además de compuestos orgánicos residuales y cenizas. Su acumulación representa un problema ambiental y de manejo de residuos en las regiones productoras.

El presente estudio expone la valorización como materia prima del bagazo de Maguey Pitzometl de la Región de Zapotitlán Salinas Puebla, México, para obtener carbón activado, producto de valor agregado que representa una estrategia de economía circular y sostenibilidad ambiental.

Estudio de adsorción en Carbón Activado elaborado a partir de bagazo del Maguey Pitzometl [Agave marmorata] de Zapotitlán Salinas, Puebla		
Objetivo	Metodología	Contribución
<p>Evaluar las características de adsorción del carbón activado obtenido del bagazo de Maguey Pitzometl</p> 	<p>Definición del Diseño Unifactorial, preparación de solución estándar, elaboración de ensayos experimentales por triplicado por cada nivel del factor a evaluar, desarrollo experimental, análisis de resultados.</p>	<p>Se evaluaron las características de adsorción del carbón activado producido a partir del bagazo de Maguey Pitzometl bajo un diseño unifactorial con variable de respuesta % de Adsorción de azul de metileno del factor Carbón Activado [CA] con 4 niveles: CA comercial, CA producido por Activación Física, CA producido por Activación Química al 40% de activador y CA producido por activación Química al 60% de activación. El CA en estudio no tiene diferencia estadísticamente significativa en características de adsorción que el CA comercial.</p>

Carbón Activado, Adsorción, Bagazo, Agave marmorata

Introduzione

La bagassa di maguey rappresenta una fonte rinnovabile, abbondante e sostenibile di materia prima per la produzione di carbone attivo. Il suo utilizzo mitiga l'impatto ambientale associato all'industria del mezcal e della tequila, promuove l'economia circolare e l'uso efficiente dei rifiuti agroindustriali e consente di ottenere carboni attivi ad alto rendimento, con applicazioni nella rimozione di contaminanti dall'acqua e dall'aria, tra le altre importanti applicazioni, trasformando così un rifiuto problematico in una risorsa strategica nelle tecnologie ambientali sostenibili.

Il carbone attivo è un materiale carbonioso con una struttura molto porosa e una superficie specifica molto elevata, pari a centinaia o addirittura più di mille metri quadrati per grammo, che gli consente di assorbire contaminanti, tossine, composti organici e altri composti [Charcoal House, s/f].

Tra le principali applicazioni del carbone attivo vi è il suo ampio utilizzo nel trattamento dell'acqua e delle acque reflue, poiché è in grado di rimuovere cloro, composti organici, pesticidi, odori e altri composti. Viene inoltre utilizzato nei processi di filtrazione dell'aria, recupero di solventi, industria chimica e trattamento dei gas [NOSB, 2002].

La capacità adsorbente di un carbone attivo dipende dalla sua porosità, che può essere a livello di micropori, mesopori e macropori, nonché dall'area superficiale e dalla chimica superficiale del materiale. Il materiale precursore influenza la struttura del carbone attivo, ovvero il tipo di porosità presente, la sua durezza e il contenuto di ceneri [Fadhilah, R., 2020].

Tradizionalmente, il carbone attivo è stato prodotto da materie prime di origine minerale o da legni duri; tuttavia, l'interesse per le fonti naturali rinnovabili è aumentato in modo significativo negli ultimi decenni, a causa della necessità di processi sostenibili, a basso costo e rispettosi dell'ambiente [Ioannidou & Zabaniotou, 2007]. Queste fonti includono biomasse lignocellulosiche, residui agricoli, agroindustriali e marini, che hanno un alto contenuto di carbonio fisso, cellulosa, emicellulosa e lignina, componenti essenziali per generare una struttura porosa dopo la loro attivazione termica o chimica [Mohammed et al., 2015].

Tra le fonti naturali più utilizzate vi sono il legno e i residui forestali, che forniscono carboni attivi con elevata microporosità e bassa quantità di ceneri. La buccia di cocco, ad esempio, è riconosciuta come una delle materie prime più efficaci, poiché produce carboni con superfici che possono superare i 1500 m²/g e un'eccellente resistenza meccanica [Ioannidou & Zabaniotou, 2007].

D'altra parte, i residui agricoli - come le bucce di riso, di noci, di mais, la bagassa di canna da zucchero e la bagassa di agave - si sono affermati come precursori interessanti grazie alla loro abbondanza, al basso costo e all'elevato rendimento in carbonio fisso. Questi materiali vengono trasformati in carbone attivo attraverso un processo di carbonizzazione [tra 400 e 700 °C] seguito da attivazione fisica o chimica, con agenti quali vapore acqueo, CO₂, acido fosforico [H₃PO₄], idrossido di potassio [KOH] o cloruro di zinco [ZnCl₂] [Mohammed et al., 2015; Deng et al., 2009].

Allo stesso modo, i rifiuti agroindustriali rappresentano un'alternativa ad alto potenziale per la loro disponibilità e l'impatto ambientale che generano se non vengono sfruttati. In questo senso, sottoprodotti come la bagassa di agave proveniente dalla produzione di mezcal e tequila si sono dimostrati eccellenti precursori per carboni attivi di alta qualità, con aree specifiche comprese tra 600 e 1500 m²/g e una notevole capacità di adsorbimento dei contaminanti organici [González-Serrano et al., 2021]. L'utilizzo di questi materiali contribuisce a una gestione più sostenibile dei rifiuti e promuove l'economia circolare nelle regioni produttrici [Rosas et al., 2020].

Esistono anche fonti meno convenzionali, come i rifiuti animali e marini [ad esempio ossa, gusci o squame di pesce], che possono essere trasformati in carboni attivi con proprietà miste di micro e mesoporosità, adatti alla purificazione dei gas o ai catalizzatori [Mekonnen & Hoekstra, 2016]. Allo stesso modo, biomasse erbacee come bambù, paglia e foglie secche sono state utilizzate con risultati promettenti, anche se la loro stabilità termica è solitamente inferiore a quella del legno [Liu et al., 2010]. La scelta di una materia prima naturale per l'ottenimento del carbone attivo dipende da diversi fattori: il contenuto di carbonio fisso [preferibilmente superiore al 50%], la bassa quantità di ceneri, la struttura lignocellulosica stabile, la sua disponibilità locale e l'impatto ambientale associato al suo utilizzo [Deng et al., 2009].

L'uso di fonti naturali e rinnovabili per la produzione di carbone attivo rappresenta una strategia ambientale ed economicamente sostenibile, poiché consente di ridurre il volume dei rifiuti organici, di sfruttare materiali di scarso valore commerciale e di generare prodotti ad alta domanda tecnologica. Questo approccio promuove la transizione verso processi a basso impatto ambientale, integrando i principi di sostenibilità, innovazione ed economia circolare [Ioannidou & Zabaniotou, 2007; Martínez-López et al., 2019].

Metodologia

Definizione del disegno unifattoriale. Lo studio dell'adsorbimento del carbone attivo in esame è stato condotto con un disegno unifattoriale bilanciato a effetti fissi, in cui la variabile di risposta da valutare è la % di assorbanza [% Abs], mentre il fattore da studiare è il carbone attivo [CA] in quattro livelli:

- CA commerciale: valutato come riferimento di un carbone attivo di buccia di cocco disponibile in commercio per processi di adsorbimento.
- CA att. fisica
- CA att. chim. 40%
- CA att. chim. 60%

Tutti i livelli saranno valutati in triplicato per un totale di 12 repliche, nelle stesse condizioni di quantità di adsorbente, adsorbato, concentrazione, tempo e velocità di agitazione, con un livello di significatività $\alpha=0,05$, dove:

Ipotesi nulla: tutte le medie della % di adsorbimento dei CA sono uguali.

Ipotesi alternativa: non tutte le medie della % di adsorbimento dei CA sono uguali.

Preparazione delle soluzioni. Preparazione della soluzione madre di blu di metilene e diluizioni per realizzare la curva di calibrazione dello spettrofotometro UV-Vis, marca Velab, modello VE-51600V.

Preparazione della soluzione di lavoro. Sono stati preparati 100 mL di una soluzione madre di blu di metilene a una concentrazione di 0,4 g/L.

Dalla soluzione madre di blu di metilene è stata preparata una diluizione 0,05, da questa diluizione sono stati preparati 5 matracci da 50 millilitri.

Con lo spettrofotometro Velab modello VE-51600V sono state effettuate le letture dell'assorbanza di queste diluizioni tenendo conto del valore dell'assorbanza iniziale.

Repliche sperimentali. Successivamente sono stati pesati sulla bilancia analitica 0,1 grammi di ciascun CA da valutare [Fattore]: carbone attivo commerciale, carbone attivo fisicamente, carbone attivo chimicamente al 40%, carbone attivo chimicamente al 60%. Per ciascuno dei livelli del Fattore sono state pesate tre volte,

I campioni sono stati posti in becher da 50 millilitri, successivamente con una provetta graduata sono stati misurati 20 millilitri della diluizione 0,05 di blu di metilene e aggiunti a ciascuno dei becher con i campioni di carbone attivo,

Ciascuno dei campioni è stato sottoposto ad agitazione per 20 minuti a 410 giri al minuto, quindi i campioni sono stati filtrati con un filtro a membrana microporosa in plastica di tipo HA con pori di dimensioni pari a 0,45 μM , facendo passare la soluzione. Misurazione dell'assorbanza. Le letture dell'assorbanza sono state effettuate con lo spettrofotometro su ciascuna delle soluzioni trattate con i diversi campioni di carbone. Analisi dei risultati. Analisi e interpretazione del disegno unifattoriale.

Risultati

Non esistono differenze statisticamente significative tra le medie della % di adsorbimento dei carboni attivi valutati con un livello di significatività di $\alpha=0,05$, dell'analisi unifattoriale rispetto a $F_{0,5,3,8} = 8,85$, come mostrato nell'analisi della varianza dei dati della Tabella 1, pertanto si accetta l'ipotesi nulla.

Scatola 1

Tabella 1

Analisi della varianza

Fonte	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	ValoreF	Valorep	F _{0.05, 3,8}
Carbone attivo	3	0.2535	0.08449	1.41	0.308	8.85
Errore	8	0.4782	0.05977			
Totale	11	0.7316				

La Figura 1 mostra che il maggiore assorbimento di blu di metilene è stato osservato nel carbone attivo prodotto con attivazione chimica utilizzando come agente attivante il carbonato di potassio anidro ad una concentrazione del 40%, seguito dal carbone attivo fisicamente. Sia il carbone attivo commerciale che il carbone prodotto con attivazione chimica utilizzando come agente attivante il carbonato di potassio anidro ad una concentrazione del 60% hanno presentato una maggiore variabilità nei risultati di assorbanza.

Scatola 2

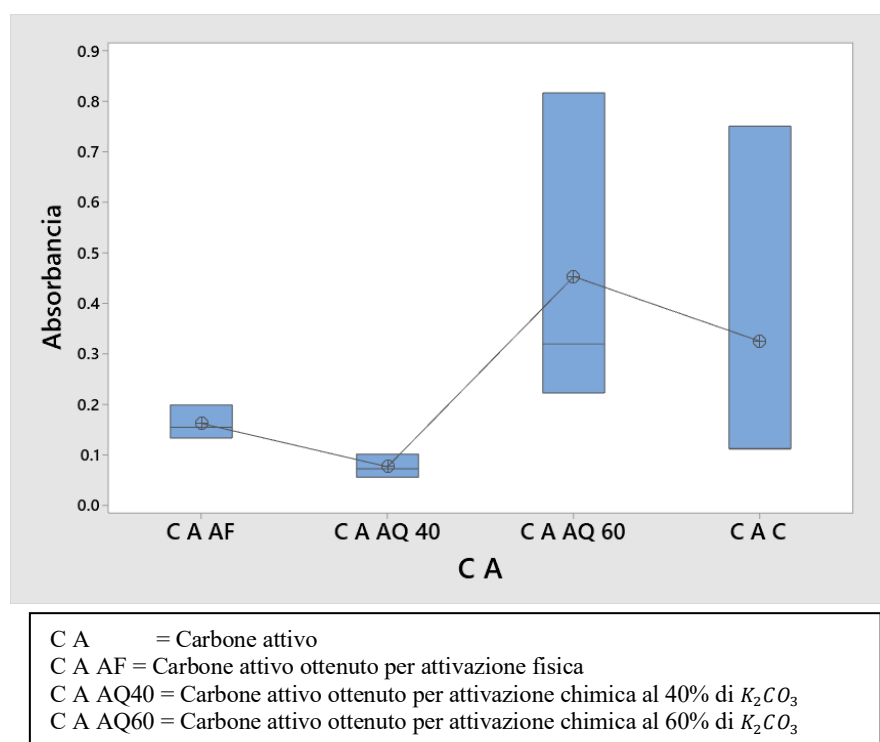


Figura 1

Grafico relativo ai carboni attivi valutati

È da escludere che questi risultati rendano competitivo il carbone attivo ottenuto dalla bagassa di maguey per la sua capacità di adsorbimento rispetto al carbone attivo commerciale ricavato dalla guscia di cocco che, secondo Ioannidou & Zabaniotou [2007], la guscia di cocco è riconosciuta come una delle materie prime più efficaci per la produzione di carbone attivo, poiché produce carboni con superfici che possono superare i 1500 m²/g e con un'eccellente resistenza meccanica.

Il carbone attivo ha ampie applicazioni nel controllo delle emissioni in ambito ambientale, come dimostrano le seguenti ricerche:

- Lo studio presentato da Garrido-Arias [2025] sulle caratteristiche di adsorbimento del carbone attivo analizza come questo assorba il diisocianato 2,4-toluene (TDI), un composto tossico utilizzato nella produzione di poliuretani. A tal fine, viene determinata la curva di rottura, che indica il momento in cui il carbone attivo si satura e inizia a lasciar passare il TDI. I risultati ottenuti consentono di stabilire i tempi di saturazione, i fattori che influenzano l'efficacia del carbone (come la portata, l'umidità e la temperatura) e le raccomandazioni per rinnovare i filtri e migliorare la protezione sul lavoro. Il lavoro fornisce dati utili per ridurre l'esposizione dei lavoratori al TDI in ambienti industriali.

- Lo studio di Marcos Alejandro Robles Lora, et al. [2025] analizza l'efficacia dell'uso del carbone attivo ricavato dalla buccia di banana come adsorbente per eliminare i metalli pesanti dall'acqua del fiume Moche (Perù), riscontrando che questo adsorbente a basso costo e di origine agro-industriale è efficiente nel ridurre il carico di metalli pesanti (in particolare l'arsenico) nell'acqua contaminata, con potenziali applicazioni nel trattamento ambientale.

Conclusioni

L'agave è una risorsa naturale con un importante valore culturale, economico ed ecologico in Messico, dove molte delle specie presenti sono endemiche, come nel caso dell'*Agave marmorata*, ma il suo sfruttamento richiede una gestione sostenibile per conservare la biodiversità, mantenere le comunità e garantirne l'uso a lungo termine.

Il genere *Agave* si distingue per le sue importanti applicazioni, ma allo stesso tempo presenta anche sfide significative, poiché il suo sfruttamento eccessivo può metterlo a rischio di estinzione.

La crescente domanda di produzione di Tequila e Mezcal, chiamate bevande agaveras, genera grandi volumi di sottoprodotti, come la bagassa ricca di cellulosa, emicellulosa e lignina, che possono avere un impatto ambientale se non gestiti correttamente.

La produzione di carbone attivo dalla bagassa di Maguey Pitzometl costituisce un'alternativa valida per lo sfruttamento di questo sottoprodotto. L'uguaglianza media tra la capacità di adsorbimento dei carboni prodotti dalla bagassa di Maguey Pitzometl della regione di Zapotitlán, Salinas, Puebla, Messico, e il carbone attivo commerciale, consente di raccomandare l'utilizzo del metodo meno costoso per il processo di attivazione, che in questo caso è l'attivazione fisica.

La presente ricerca è stata sviluppata in collaborazione con la Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl di Zapotitlán, Salinas, Puebla, S.C. de P. de R. L. de C.V. affinché le proposte generate siano utili agli abitanti di questa regione, dove la produzione vicino all'origine della biomassa e con processi efficienti migliora la sostenibilità dei progetti.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari in competizione noti né relazioni personali che potrebbero aver influenzato l'articolo di cui si parla in questo articolo.

Contributo degli autori

López.Vigil, Miriam Silvia: Contribuisce con l'idea del progetto, lo sviluppo e l'organizzazione della ricerca.

Gomez-Flores, Nidia Esther: Contribuisce con la collaborazione alle attività sperimentali.

Santos-Alvarado, Héctor: Contribuisce con l'analisi dei dati.

Islas-Torres, Héctor: Contribuisce con la revisione e l'editing.

Disponibilità di dati e materiali

I dati analizzati durante lo studio attuale sono disponibili presso l'autore corrispondente previa ragionevole richiesta.

Finanziamento

Finanziamento: Il presente lavoro è stato finanziato da TecNM [Codice: 23734.25-P].

Ringraziamenti

Ringraziamo il Tecnológico Nacional de México per il sostegno ricevuto attraverso il bando Progetti di ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e innovazione 2025 degli Istituti tecnologici federali e dei Centri, per il progetto: “Applicazioni sostenibili e pertinenti del Maguey Pitzometl [Agave Marmorata], risorsa endemica e importante della regione di Zapotitlán Salinas Puebla”, codice 23734.25-P. Ringraziamo il Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán per il sostegno fornito alla realizzazione del presente progetto di ricerca, con l'utilizzo delle risorse proprie dell'istituzione e l'autorizzazione all'uso del Laboratorio di Ingegneria Ambientale dell'Istituto. Ringraziamo la Cooperativa Sembradores de Maguey Pitzometl di Zapotitlán, Salinas, Puebla, S.C. de P. de R. L. de C.V. per la collaborazione e l'interesse dimostrato nella realizzazione del presente progetto di ricerca.

Abbreviazioni

CA Carbone attivo

















Riferimenti

- Charcoal House [s/f]. [Activated Charcoal - Science & History](#). PO BOX 261 Crawford, NE 69339 USA.
- Deng, H., Yang, L., Tao, G., & Dai, J. [2009]. *Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted activation*. *Chemical Engineering Journal*, 163[3], 373–381.
- González-Serrano, C., Rosas, J. M., & Rodríguez-Mirasol, J. [2021]. *Production of activated carbon from agave bagasse by chemical activation for environmental applications*. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126708.
- Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. [2007]. *Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11[9], 1966–2005.
- Liu, Q., Zheng, T., Wang, P., & Guo, L. [2010]. *Preparation and characterization of activated carbon from bamboo by microwave-induced activation*. *Chemical Engineering Journal*, 156[2], 502–507.
- López-Vigil, M., Santos-Alvarado, H., Islas-Torres, H. [2024]. *Morphological, physical and chemical characterization of the maguey Pitzometl [Agave marmorata] from Zapotitlán Salinas, Puebla*. *Journal of Chemical and Physical Energy*. 11[30]-1-8: e21130108.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. [2006]. *Activated Carbon*. Elsevier Science.
- Martínez-López, A. L., González-Zamora, A., & Morales-Mendoza, L. F. [2019]. *Sustainable use of agave residues for bio-based materials and energy: An overview*. *Industrial Crops and Products*, 139, 111539.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. [2016]. *The environmental sustainability of biobased carbon materials from marine sources*. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1025–1033.
- Mohammed, J., Nasri, N. S., & Ahmad, Z. [2015]. *Preparation of activated carbon from agricultural wastes for water treatment*. *Environmental Chemistry Letters*, 13[2], 195–208.
- NOSB [2002] *Activated Carbon*. National Organic Standards Board Technical Advisory Panel Review Page 1 of 23 Compiled by OMRI for the USDA National Organic Program. NOSB TAP Review Compiled by OMRI
- Rosas, J. M., Bedia, J., & Rodríguez-Mirasol, J. [2020]. *Activated carbons from agave waste for adsorption of water pollutants*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8[4], 103918.
- Soto-Cruz, O., Pérez-Sariñana, B. Y., & Álvarez, G. [2017]. *Characterization of agave bagasse for bioenergy and value-added products*. *Renewable Energy*, 101, 1216–1223.

Contenuto di clorofilla nelle piante di mais ottenute da semi trattati con plasma ad aria a bassa pressione

Contenido de clorofila en plantas de maíz obtenidas de semillas tratadas con plasma de aire a baja presión

Sosa-Galindo, Daniel ^a, Castillo-Gutiérrez, Antonio ^b, Fuentes-Albarrán, María del Carmen ^c e Alarcón-Hernández, Fidel Benjamín ^d

- ^a  Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  OLS-0312-2025 •  0009-0003-4317-6495 •  2180129
^b  Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  OLR-5034-2025 •  0000-0002-2636-9637 •  202171
^c  Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  LFS-3039-2024 •  0000-0003-1308-1332 •  171814
^d  Universidad Autónoma del Estado de Morelos •  AEO-9146-2022 •  0000-0002-2465-0898 •  131028

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.8.19>

Area: Biotecnologia e agricoltura

Campo: Scienze agrarie

Disciplina: Agronomia

Sottodisciplina: Sementi

Punti chiave del manuale

La ricerca fornisce conoscenze rilevanti su come diverse strategie di fertilizzazione e ottimizzazione dei processi (chimica, biologica, batterica e plasma fisico) influenzano il contenuto relativo di clorofilla (CC) nelle piante di mais. Tra i contributi spicca la convalida dell'uso del plasma fisico come tecnologia emergente in grado di ottimizzare l'uso di fertilizzanti chimici, dimostrando che il trattamento T850P (plasma + 50% di fertilizzazione) può raggiungere fino al 90% della resa del trattamento chimico completo. Ciò apre la strada allo sviluppo di nuove tecnologie agricole basate su input ridotti e pratiche più sostenibili. Allo stesso modo, lo studio contribuisce al progresso metodologico nella valutazione fisiologica del mais in condizioni reali di campo attraverso campionamenti periodici e analisi statistiche robuste che consentono di confrontare l'efficienza dei trattamenti innovativi rispetto alle pratiche convenzionali. Per trasferire i risultati alla generazione di conoscenza universale, è fondamentale comprendere l'interazione tra i diversi tipi di fertilizzazione e la fisiologia vegetale, in particolare per quanto riguarda il contenuto di clorofilla come indicatore dello stato fotosintetico e dell'efficienza nutrizionale della coltura. È inoltre essenziale comprendere i processi di senescenza naturale e come i trattamenti possono modificare la velocità di deterioramento fogliare. Inoltre, devono essere presi in considerazione i principi della progettazione sperimentale (blocchi completi randomizzati, trattamenti multipli, campionamenti temporali) che consentono di ottenere risultati generalizzabili e comparabili tra gli studi. Infine, è necessario comprendere i vantaggi dell'uso di tecnologie emergenti come il plasma fisico, che contribuisce a integrare pratiche innovative in contesti più ampi di agricoltura sostenibile e gestione razionale delle risorse. La ricerca conclude che esiste un effetto differenziale significativo dei trattamenti di fertilizzazione sul contenuto relativo di clorofilla nelle piante di mais durante il ciclo valutato. Sebbene tutti i trattamenti abbiano mostrato una tendenza decrescente associata alla senescenza naturale, il trattamento T4100 (fertilizzazione chimica completa) ha mantenuto costantemente i valori più alti, confermando la sua efficacia fisiologica. Tuttavia, il trattamento T850P (plasma + 50% di fertilizzazione) si è distinto come alternativa efficiente, raggiungendo il 90% della resa del trattamento ottimale, ma con un minore utilizzo di input chimici. Ciò posiziona il T850P come un'opzione praticabile per sistemi agricoli più sostenibili, senza sacrificare in modo sostanziale la produttività fotosintetica della coltura.

Area: Advocacy e attenzione ai problemi nazionali

Citazione: Sosa-Galindo, Daniel, Castillo-Gutiérrez, Antonio, Fuentes-Albarrán, María del Carmen e Alarcón-Hernández, Fidel Benjamín. 2025. Contenuto di clorofilla nelle piante di mais ottenute da semi trattati con plasma ad aria a bassa pressione. 8-19. PIREQA.

* ✉ [\[honorato@uaem.mx\]](mailto:honorato@uaem.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



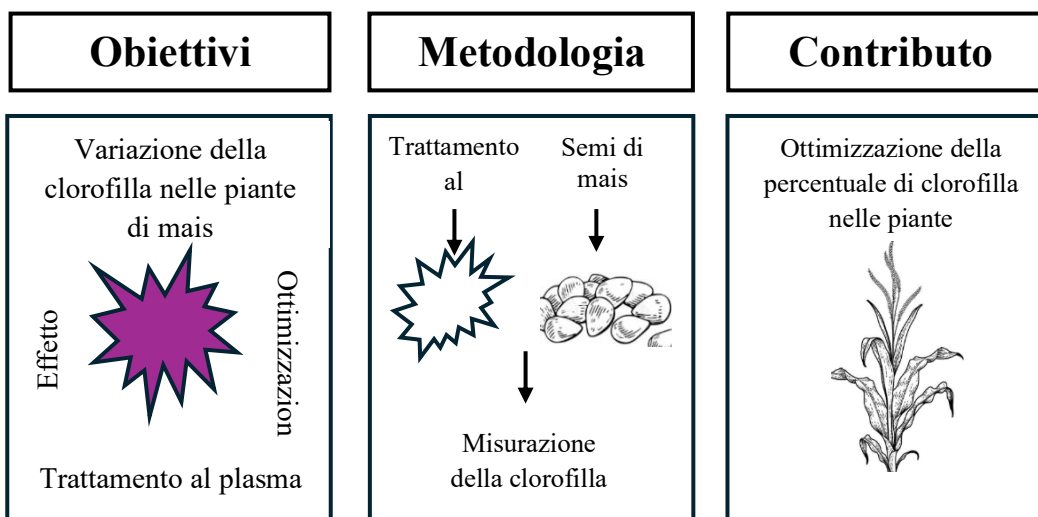
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

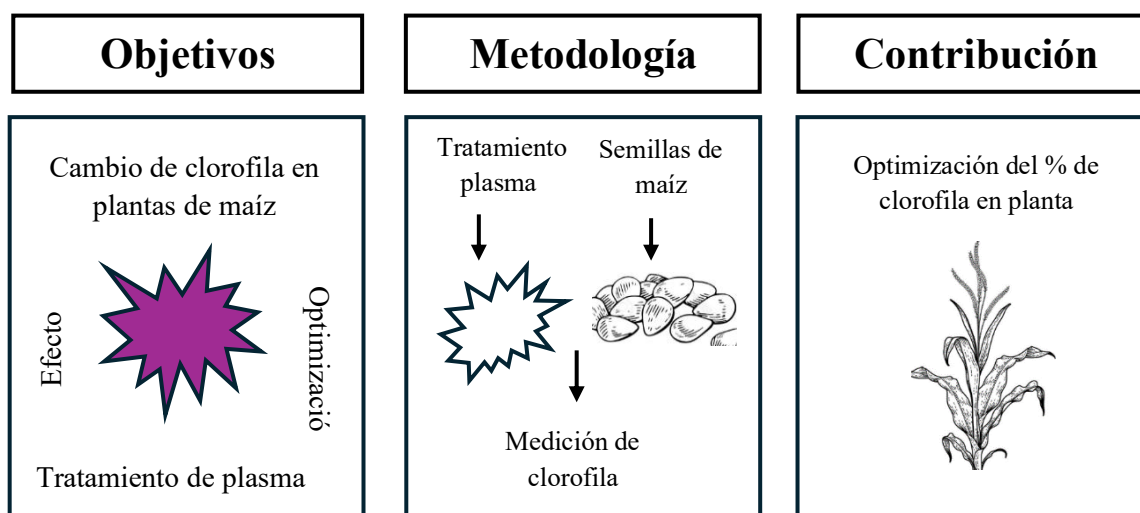
Il contenuto relativo di clorofilla [CC] è stato determinato in piante di mais ottenute da semi trattati con fertilizzazione chimica [diverse dosi], fertilizzazione biologica [vermicompost], ceppi batterici Mor4.1 e RM19 [stimolatori della crescita delle piante] e plasma fisico. L'esperimento è stato condotto in condizioni di campo, utilizzando semi di mais della varietà VUM [Variedad Universidad de Morelos]. L'unità sperimentale era costituita da quattro file lunghe cinque metri, con nove trattamenti in quattro blocchi in un disegno sperimentale a blocchi casuali completi. Sono stati effettuati quattro campionamenti ogni nove giorni. I valori ottenuti sono stati sottoposti ad analisi statistica, che ha mostrato che il trattamento T850P [plasma + 50% di fertilizzazione] ha presentato un rendimento medio-alto, significativamente migliore rispetto al controllo senza fertilizzazione [T1] e vicino al trattamento ottimale [T4100], con una resa equivalente al 90% del contenuto di clorofilla di T4100.



Semi di mais, plasma, clorofilla

Resumen

Se determinó el Contenido Relativo de Clorofila [CC] en plantas de maíz obtenidas de semillas tratadas mediante fertilización química [diferentes dosis], fertilización biológica [vermicomposta], cepas bacterianas Mor4.1 y RM19 [potenciadoras del crecimiento vegetal], así como de plasma físico de aire. El experimento se estableció en condiciones de campo considerando semillas de maíz de la variedad VUM [Variedad Universidad de Morelos]. La unidad experimental fue de cuatro surcos de cinco metros de largo, con nueve tratamientos en cuatro bloques en un diseño experimental de bloques completos al azar. Se realizaron cuatro muestreos los cuales se realizaron cada nueve días. Los valores obtenidos se sometieron a un análisis estadístico obteniéndose que el tratamiento T850P [plasma + 50 % de fertilización] presentó un comportamiento intermedio-alto, significativamente mejor que el testigo sin fertilización [T1], y cercano al tratamiento óptimo [T4100], con un rendimiento equivalente al 90 % del contenido de clorofila de T4100.



Semillas de maíz, plasma, clorofila

Introduzione

Il mais [*Zea mays L.*] è una delle colture più importanti al mondo, sia per il suo ruolo nella sicurezza alimentare che per il suo valore economico e il suo utilizzo nell'industria alimentare e agroindustriale. La sua resa e qualità dipendono da molteplici fattori, tra cui la genetica delle piante, le condizioni ambientali, la gestione agronomica e i fattori fisiologici che determinano l'efficienza fotosintetica [Lai et al., 2023; Brewer et al., 2022]. Tra i fattori fisiologici, il contenuto di clorofilla è riconosciuto come un indicatore cruciale dello stato nutrizionale, dell'efficienza fotosintetica e della capacità della pianta di adattarsi a condizioni di stress abiotico, come la siccità o l'eccesso di acqua [Sun et al., 2021; Yasin et al., 2024; Li et al., 2024]. Pertanto, la comprensione dei meccanismi che influenzano il contenuto di clorofilla e, di conseguenza, la produttività del mais costituisce una sfida centrale nella ricerca agronomica contemporanea.

Il contenuto di clorofilla non solo riflette l'attività fotosintetica della pianta, ma è anche associato all'assorbimento e all'utilizzo dell'azoto, alla sintesi della biomassa e all'efficienza dell'uso delle risorse idriche e luminose [Chen et al., 2025; Lai et al., 2023]. Diversi studi hanno dimostrato che la stima del contenuto di clorofilla mediante metodi spettrali, telerilevamento e sensori iperspettrali consente un monitoraggio altamente accurato dello stato fisiologico delle colture, facilitando l'adozione di strategie di gestione agricola basate sui dati [Li et al., 2023; Chen et al., 2025]. Nonostante i progressi tecnologici, la base genetica del contenuto di clorofilla nel mais rimane in parte sconosciuta. Recenti studi hanno identificato potenziali geni correlati alla biosintesi della clorofilla e alla sua regolazione in diversi tessuti fogliari, dimostrando il potenziale di miglioramento di questo tratto attraverso la selezione genetica [Liu et al., 2024].

Lo stress abiotico, in particolare la siccità e l'alternanza improvvisa di siccità e alluvioni, rappresenta un'ulteriore sfida per l'efficienza fotosintetica del mais. La siccità provoca una significativa riduzione della biomassa, della conduttanza stomatica, del tasso di assimilazione di CO₂ e del contenuto di clorofilla, influenzando direttamente la resa e la qualità dei chicchi [Abu et al., 2024; Yasin et al., 2024]. Strategie come l'applicazione di biostimolanti, tra cui acidi umici e fitormoni come gli strigolattoni, hanno dimostrato di mitigare gli effetti della siccità, aumentando le concentrazioni di pigmenti fotosintetici, l'efficienza nell'uso dell'acqua e l'attività antiossidante negli ibridi di mais, dimostrando l'importanza degli interventi fisiologici per mantenere la produttività in condizioni avverse [Luqman et al., 2023; Abu et al., 2024].

Inoltre, il trattamento di semi e piantine con plasma non termico si è affermato come una metodologia innovativa e sostenibile per migliorare la germinazione, la crescita iniziale e la fisiologia del mais. La generazione di plasma ad arco a bassa pressione e/o atmosferico consente la modifica della superficie dei semi, che altera l'assorbimento di acqua e sostanze nutritive e modula la concentrazione di ormoni vegetali come auxine, citochinine e acido abscissico, con effetti diretti sulla lunghezza delle radici e dei germogli e sulla biomassa iniziale [Šerá et al., 2021].

Inoltre, l'acqua attivata al plasma [PAW], ottenuta introducendo plasma non termico in acqua deionizzata, contiene specie reattive di ossigeno e azoto che facilitano le reazioni chimiche intracellulari e promuovono la germinazione e la crescita delle piantine, aumentando il contenuto di clorofilla e l'attività antiossidante, riducendo al contempo lo stress ossidativo, come dimostrato dalla diminuzione del malondialdeide [Wang et al., 2023; Škarpa et al., 2020]. Questi risultati sottolineano il potenziale del plasma come strategia fisica per migliorare la qualità fisiologica del mais e la sua resistenza ai fattori di stress.

È importante notare che l'influenza dei trattamenti al plasma sulla clorofilla e sulla fisiologia delle piante dipende da parametri quali la durata del trattamento, la tensione applicata e la frequenza di applicazione del PAW [Šerá et al., 2021; Wang et al., 2023]. Ad esempio, trattamenti brevi possono ridurre gli ormoni dello stress e promuovere la crescita iniziale, mentre trattamenti più lunghi tendono ad aumentare alcuni composti di difesa, modulando la fisiologia delle piante in modi complessi. Questi effetti dimostrano che l'ottimizzazione dei parametri di trattamento è essenziale per ottenere benefici costanti e riproducibili nella produzione vegetale, in particolare nel mais, dove la clorofilla è un marcatore fisiologico chiave. Il contenuto di clorofilla è influenzato anche dalla densità di impianto e dalla distanza tra le file, nonché dalla disponibilità di azoto, che influisce direttamente sul tasso di fotosintesi, sulla senescenza fogliare e sull'efficienza luminosa della chioma [Zhao et al., 2025; Lai et al., 2023].

La combinazione appropriata di densità e spaziatura può massimizzare la fotosintesi netta delle foglie, ritardare la senescenza, aumentare l'attività degli enzimi antiossidanti e ridurre lo stress ossidativo, contribuendo così a una maggiore resa dei cereali. Questi risultati rafforzano la necessità di integrare strategie agronomiche e fisiche, come l'uso del plasma, con adeguamenti nella progettazione delle colture per ottimizzare la produttività e la salute fisiologica del mais.

In sintesi, la ricerca sull'uso del plasma ad aria a bassa pressione sui semi di mais si inserisce in un contesto più ampio di ottimizzazione della produttività agricola attraverso interventi sostenibili e tecnologie di precisione. Prove sempre più numerose dimostrano che questo approccio può migliorare la germinazione, lo sviluppo iniziale delle piantine e il contenuto di clorofilla, oltre a modulare la fisiologia ormonale e antiossidante delle piante [Škarpa et al., 2020; Šerá et al., 2021; Wang et al., 2023]. La rilevanza di questi interventi è accentuata dalle sfide ambientali contemporanee, come lo stress idrico e la variabilità climatica, che influenzano direttamente la crescita del mais e l'efficienza fotosintetica [Yasin et al., 2024; Li et al., 2024]. Da questo punto di vista, il presente studio, incentrato sulla valutazione del contenuto di clorofilla nelle piante di mais ottenute da semi trattati con plasma ad aria a bassa pressione, contribuisce in modo significativo alla comprensione degli effetti fisiologici e biochimici delle tecnologie emergenti. Fornisce informazioni preziose per lo sviluppo di pratiche agricole sostenibili e altamente efficienti.

Metodologia

Descrizione dell'esperimento

L'esperimento è stato condotto in condizioni di campo [semina sotto pioggia, anno 2025, nel campo sperimentale della Scuola di Studi Superiori Xalostoc dell'Università Autonoma dello Stato di Morelos]. Sono stati utilizzati semi di mais della varietà VUM [Varietà dell'Università di Morelos]. Questa varietà a impollinazione libera è stata generata mediante selezione ricorrente da una popolazione di mais autoctono dello Stato di Morelos, in Messico.

L'unità sperimentale era composta da quattro file, lunghe cinque metri, con nove trattamenti in quattro blocchi in un disegno a blocchi completi randomizzati.

I trattamenti consistevano in fertilizzazione chimica [dosaggi diversi], fertilizzazione biologica [vermicompost], ceppi batterici Mor4.1 e RM19 [entrambi stimolatori della crescita delle piante] e plasma fisico ad aria. La composizione dei trattamenti è descritta nella tabella 1.

Scatola 1

Tabella 1

Descrizione dei trattamenti utilizzati in questa ricerca.

Trattamento	Descrizione
T1	Fertilizzazione chimica [0%], fertilizzazione biologica [0%]
T225	Fertilizzazione chimica [25%]
T350	Fertilizzazione chimica [50%]
T4100	Fertilizzazione chimica [100%]
T5VMor	Mor4.1 + vermicompost
T6V25Mor	Mor4.1 + Concimazione chimica [25%] + vermicompost
T7V50Mor	Mor4.1 + Concimazione chimica [50%] + vermicompost
T850P	Plasma + Concimazione chimica [50%]
T9V50RM	RM19 + Concimazione chimica [50%] + vermicompost

Fonte: Elaborazione propria

Plasma d'aria

Seicentasettantadue semi di mais sono stati trattati con plasma ad aria a bassa pressione [2,00 Torr, vacuometro digitale: CPS, pompa a vuoto: LABCONCO]. Il trattamento al plasma è stato generato utilizzando una fonte ad alta tensione [SPELLMAN SL600] con impostazioni di tensione e corrente [2000 V, 15 mA]. Il tempo di esposizione è stato di 6,0 secondi. I semi sono stati collocati in una camera a vuoto dove è stato generato il plasma e trattati come mostrato nella Figura 1.

Scatola 2



- ← Luce caratteristica di un plasma d'aria a bassa pressione.
- ← Elettrodi generatori di plasma
- ← Semi di mais sottoposti a trattamento al plasma

Figura 1

Semi di mais sottoposti a trattamento con plasma d'aria a bassa pressione. Si osserva l'emissione di fotoni a lunghezze d'onda caratteristiche del plasma d'aria [colore rosa-viola].

Fonte: elaborazione propria

Misurazione della variabile di interesse

Il contenuto relativo di clorofilla [CC] è stato misurato utilizzando il dispositivo elettronico SPAD Chlorophyll Meter SPAD-502. In ciascuna unità sperimentale sono state selezionate e contrassegnate in modo casuale 10 piante. È stata selezionata ed etichettata una foglia dalla sezione centrale di ciascuna pianta. Lo scopo della marcatura delle piante e delle foglie era quello di misurare il contenuto relativo di clorofilla nelle stesse piante e nella stessa sezione fogliare durante le quattro sessioni di campionamento. Il campionamento è stato effettuato ogni nove giorni, a partire dal 57° giorno di crescita delle piante dopo la semina.

Le medie sono state ottenute dai dieci valori CC per unità sperimentale e sottoposte ad analisi statistica.

Risultati e discussione

I risultati della variazione del contenuto relativo di clorofilla delle piante di mais sono presentati in funzione di ciascuno dei trattamenti definiti, nonché nel tempo.

La figura 2 mostra i risultati delle quattro misurazioni della clorofilla per ciascuno dei trattamenti. Tutti i trattamenti mostrano una tendenza al ribasso del valore relativo del contenuto di clorofilla, indicando una riduzione della concentrazione dei pigmenti fogliari durante tutto il periodo di campionamento.

La rilevanza di questi dati e di questo comportamento risiede nel fatto che la quantità di clorofilla indica direttamente la capacità fotosintetica della pianta e, quindi, la sua salute e il suo potenziale produttivo [Qian et al., 2021; Zhou et al., 2023; Qi et al., 2025].

Una maggiore concentrazione di clorofilla è correlata positivamente con una maggiore efficienza nella cattura dell'energia luminosa e nell'assimilazione dell'anidride carbonica [Yu et al., 2024; Luo et al., 2019].

Scatola 3

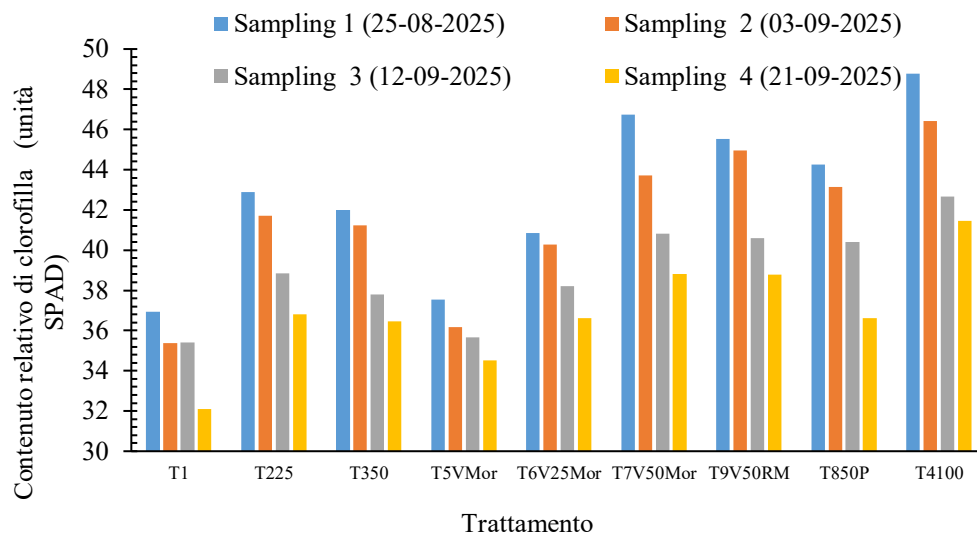


Figura 2

Variazione nel tempo del contenuto relativo di clorofilla nelle piante di mais in ciascuno dei trattamenti definiti.

Fonte: elaborazione propria

In generale, è stato osservato un calo progressivo e costante del contenuto di clorofilla per tutti i trattamenti dal primo campionamento [25 agosto] all'ultimo [21 settembre]. Questa tendenza al ribasso è indicativa del naturale processo di senescenza fogliare, che rappresenta una diminuzione dell'efficienza fisiologica e un potenziale impatto sulla resa finale del raccolto [Yang et al., 2025; Lei et al., 2023; Antonietta et al., 2024].

La figura 3 presenta i valori medi relativi del contenuto di clorofilla per ciascuno dei trattamenti [quattro misurazioni effettuate] durante tutto il periodo di studio. Questi dati forniscono una chiara misura dell'efficacia sostenuta di ciascun trattamento sull'attività fotosintetica della coltura di mais.

I risultati mostrano una chiara differenziazione nella risposta fisiologica delle piante. Il trattamento T4100 ha ottenuto il valore più alto, registrando il contenuto medio complessivo di clorofilla più elevato [44,84]. Questo valore indica la capacità superiore di questo trattamento di promuovere e mantenere l'integrità del contenuto relativo di clorofilla nel tempo.

Scatola 4

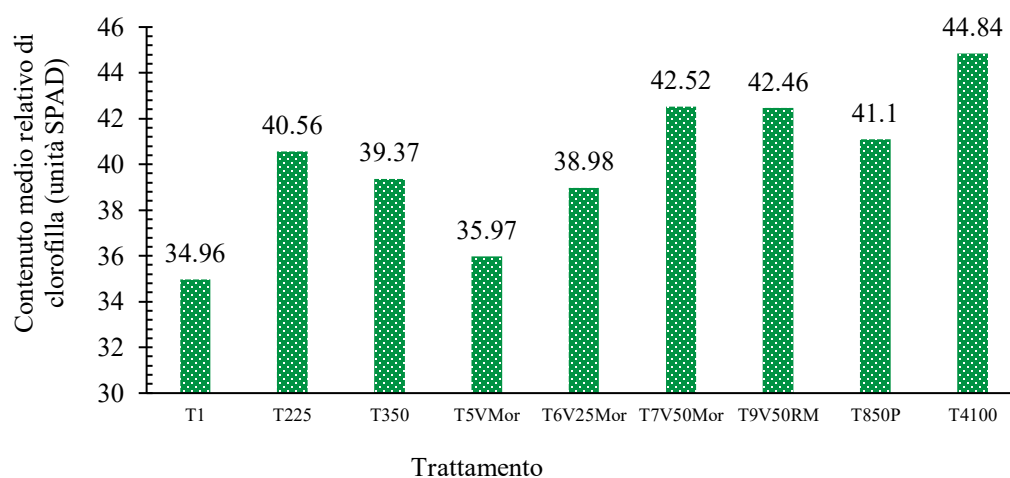


Figura 3

Valori medi del contenuto relativo di clorofilla delle piante di mais in base a ciascuno dei trattamenti considerati.

Fonte: elaborazione propria

Immediatamente al di sotto di questo valore si trovano i trattamenti T7V50Mor [42,52] e T9V50RM [42,46], che hanno anch'essi mostrato una resa notevolmente elevata, collocandosi in un gruppo di trattamenti con maggiore efficacia. La maggior parte dei trattamenti rimanenti si è concentrata in un intervallo intermedio, intorno a 40,00, suggerendo un effetto moderato ma positivo. Al contrario, il trattamento T1 si è chiaramente posizionato all'ultimo posto, con una media di 34,96.

Questa disparità sottolinea che le formulazioni o le dosi applicate hanno un effetto eterogeneo sulla ritenzione della clorofilla e sulla mitigazione della senescenza, con T4100 che offre il beneficio agronomico più significativo e duraturo nell'ottimizzazione della salute e dell'efficienza fotosintetica delle piante di mais.

Analisi del trattamento al plasma [T850P]

Considerando i risultati ottenuti per i trattamenti T1 [Fertilizzazione chimica [0%], Fertilizzazione biologica [0%]], T850P [Plasma + Fertilizzazione chimica [50%]] e T4100 [Fertilizzazione chimica [100%]], di cui [T1 e T4100] sono i valori estremi dei risultati misurati del contenuto relativo di clorofilla, e confrontandoli con T850P, si può osservare quanto segue nella Figura 4.

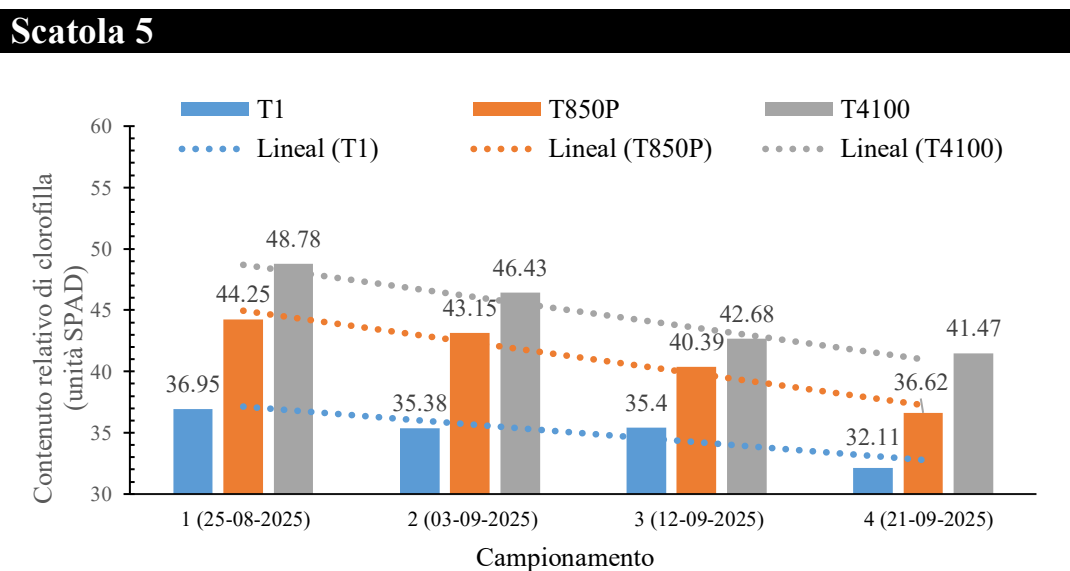


Figura 4

Valori misurati del contenuto relativo di clorofilla delle piante di mais nel tempo per i trattamenti: T1, T850P e T4100.

Fonte: elaborazione propria

Analizzando il trend discendente della produzione di clorofilla per i trattamenti applicati ai semi di mais [T1, T850P e T4100], si osserva che tutti mostrano un calo progressivo nel tempo. Tuttavia, analizzando la pendenza di questo calo, si nota una leggera differenza tra i trattamenti. Il trattamento T1 mostra una curva discendente più dolce, con una riduzione di 4,84 unità [da 36,95 a 32,11], indicando un calo relativamente lento della clorofilla. D'altra parte, i trattamenti T850P e T4100, pur mostrando un declino più pronunciato [rispettivamente 7,63 e 7,31 unità], mantengono costantemente valori di clorofilla più elevati in tutte le date valutate. Questo comportamento suggerisce che, sebbene il tasso di declino sia leggermente più elevato in questi due trattamenti, la loro capacità di mantenere livelli elevati di clorofilla nel tempo rappresenta un vantaggio agronomico significativo. Un comportamento simile [diminuzione del valore di clorofilla nelle piante e modifica della germinazione] è stato riportato e discusso in altre ricerche che trattano il plasma [Kamseu et al., 2025; Judée, 2020].

In particolare, T4100 si distingue per aver raggiunto il valore iniziale più alto [48,78] e aver mantenuto la concentrazione finale più alta [41,47], seguito da T850P, riflettendo la sua maggiore efficacia nel promuovere e mantenere la produzione di clorofilla nelle colture di mais.

Nello specifico, i risultati sopra riportati sono statisticamente significativi, come mostrato nella Figura 5. Durante i quattro campionamenti del contenuto di clorofilla nelle piante di mais, sono state osservate differenze significative tra i trattamenti T1, T850P e T4100, secondo i gruppi di differenza minima significativa [LSD].

Scatola 6

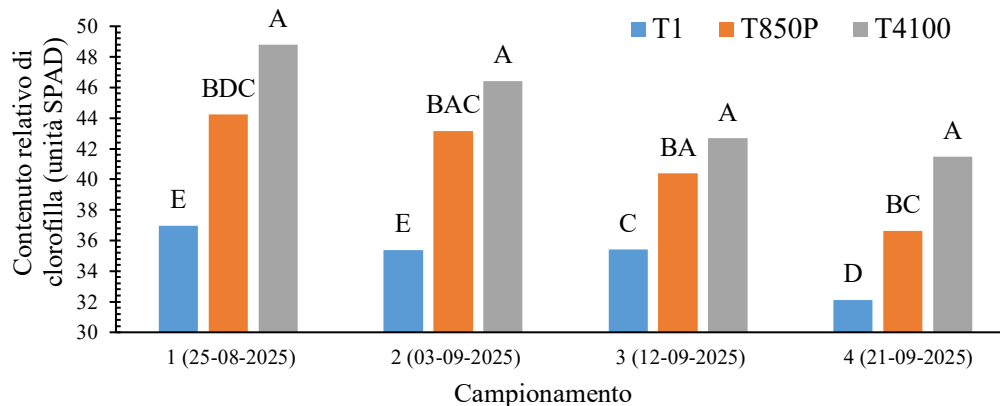


Figura 5

Viene mostrato il confronto dei trattamenti in base ai gruppi LSD per il contenuto di clorofilla nelle piante di mais nelle quattro date di campionamento.

Fonte: elaborazione propria

In tutti i campionamenti, T4100 è rimasto costantemente nel gruppo più alto [A], indicando una superiorità statistica sostenuta. T850P si è posizionato nei gruppi intermedi, mostrando risultati migliori rispetto a T1 in tutte le date di campionamento, anche se non sempre con differenze significative rispetto a T4100. D'altra parte, il T1 ha occupato costantemente i gruppi più bassi, risultando significativamente inferiore agli altri due trattamenti in tutti i campionamenti. Questi risultati confermano che il T4100 è stato il trattamento più efficace, seguito dal T850P, mentre il T1 ha mostrato le prestazioni più basse in termini di contenuto di clorofilla. Altri studi hanno dimostrato un'influenza sulla fisiologia del mais a seconda della durata del trattamento al plasma sui semi. Šerá et al. [2021], hanno utilizzato tempi di trattamento diversi con plasma ad arco scorrevole, riscontrando che, a 180 s, si verificava una diminuzione degli ormoni dello stress e delle citochinine attive; tuttavia, con tempi di trattamento più lunghi [300 s e 600 s], si verificava l'effetto opposto, con un aumento dei livelli di ormoni dello stress e citochinoni, favorendo la germinazione e la crescita delle piantine.

D'altra parte, Hossein et al. [2024] hanno studiato gli effetti dell'esposizione al plasma a scarica dielettrica a pressione atmosferica sull'amido di mais, utilizzando tempi di trattamento di 60, 120, 180 e 240 s. Hanno osservato che l'aumento del tempo di esposizione dei campioni trattati ha portato a miglioramenti significativi in varie caratteristiche fisico-chimiche, come l'assorbimento d'acqua, la stabilità al congelamento-scongelo e le proprietà reologiche e strutturali.

Analizzando i valori medi del contenuto relativo di clorofilla delle piante di mais [figura 6] corrispondenti a questi stessi trattamenti [T1 [controllo senza fertilizzazione], T850P [uso di plasma e fertilizzazione al 50%] e T4100 [fertilizzazione chimica completa]], si osserva una chiara tendenza al rialzo nella risposta fisiologica della coltura a seconda del tipo e dell'intensità del trattamento applicato.

Scatola 7

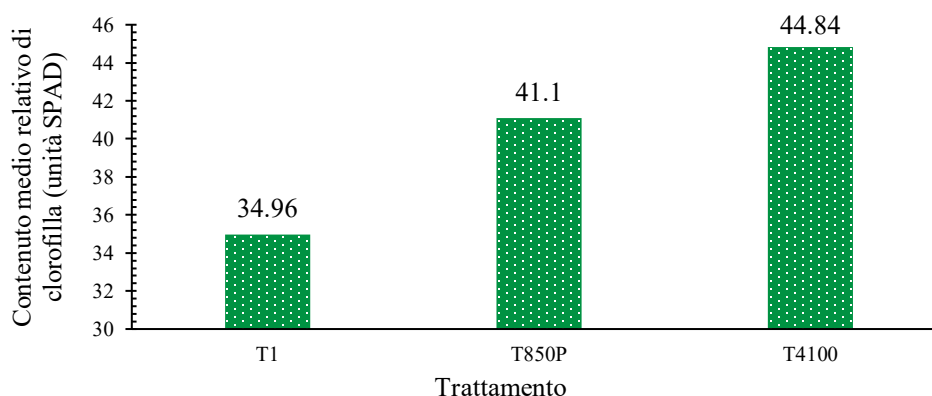


Figura 6

Valori medi del contenuto relativo di clorofilla delle piante di mais in base a ciascuno dei trattamenti oggetto dello studio.

Fonte: elaborazione propria

Il trattamento T1 ha registrato il valore medio più basso [34,96], riflettendo una minore efficienza nella sintesi o conservazione della clorofilla in assenza di fertilizzazione. Al contrario, il trattamento T850P ha mostrato un notevole aumento del contenuto medio di clorofilla [41,10] rispetto al trattamento T1, suggerendo che l'applicazione combinata di plasma e fertilizzazione parziale migliora significativamente lo stato nutrizionale e fotosintetico della pianta. Infine, T4100 ha raggiunto il valore più alto [44,84], confermando che la fertilizzazione chimica completa genera una risposta fisiologica superiore. Questi risultati dimostrano l'effetto positivo dei trattamenti tecnologici sul contenuto di clorofilla, con T4100 che risulta il più efficace, seguito da T850P, rispetto al trattamento senza intervento [T1].

Dal punto di vista dell'efficienza e dei costi, il trattamento T850P, che combina l'applicazione di plasma con il 50% di fertilizzazione chimica, dimostra un'efficienza medio-alta in termini di contenuto di clorofilla. È significativamente superiore al controllo senza fertilizzazione [T1] e inferiore al trattamento con fertilizzazione chimica completa [T4100].

Secondo i dati analizzati, il T850P ha raggiunto un contenuto medio di clorofilla di 41,1, classificandosi nei gruppi LSD B, D, C e A. Al contrario, il T4100 ha ottenuto il valore più alto [44,84, gruppo A] e il T1 il più basso [34,96, gruppi E, C e D]. Le differenze tra T850P ed entrambi gli estremi sono statisticamente significative, in quanto superano il valore minimo significativo [LSD]. In termini di efficienza relativa, T850P raggiunge circa il 90,7% del contenuto di clorofilla ottenuto da T4100 e supera il controllo T1 del 19,7%.

Questi risultati suggeriscono che, sebbene T850P non corrisponda al trattamento ottimale, la sua resa di clorofilla è elevata considerando che utilizza solo la metà della fertilizzazione chimica, il che implica una potenziale riduzione dei costi e dell'impatto ambientale.

Poiché il contenuto di clorofilla è direttamente associato alla capacità fotosintetica della pianta, e quindi alla produzione di biomassa e alla formazione di strutture riproduttive, si prevede che il T850P consenta una produzione di semi vicina a quella del trattamento T4100. Inoltre, la combinazione di plasma con una fertilizzazione inferiore potrebbe indurre risposte fisiologiche benefiche, come una maggiore efficienza nell'assorbimento dei nutrienti o l'attivazione di percorsi metabolici chiave. Pertanto, il T850P rappresenta un'alternativa praticabile e più sostenibile, con un rapporto costi-benefici favorevole, soprattutto in contesti agricoli che cercano di ridurre l'uso di input chimici senza compromettere in modo significativo la resa finale.

Conclusione

In termini di contenuto relativo di clorofilla nelle piante di mais in quattro periodi di campionamento, è evidente un effetto differenziale dei trattamenti applicati sull'efficienza fisiologica della coltura. In tutti i trattamenti è stata osservata una tendenza alla diminuzione della concentrazione di clorofilla, indicativa del naturale processo di senescenza fogliare. Il trattamento T4100 [fertilizzazione chimica completa] ha mantenuto i valori più elevati in tutti i periodi di campionamento. Si è posizionato costantemente nel gruppo statisticamente superiore, confermando la sua elevata efficacia nel promuovere e sostenere l'attività fotosintetica. D'altra parte, il trattamento T850P [plasma + 50% di fertilizzazione] ha dimostrato prestazioni medio-alte, significativamente migliori rispetto al controllo senza fertilizzazione [T1] e quasi pari al trattamento ottimale [T4100], con una resa equivalente al 90% del contenuto di clorofilla del T4100. Tale efficienza relativa, combinata con un minore utilizzo di input chimici, posiziona il trattamento T850P come un'alternativa promettente per i sistemi agricoli sostenibili.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari concorrenti noti né relazioni personali che potrebbero aver influenzato l'articolo riportato in questa ricerca.

Contributo degli autori

Contributo di ciascun ricercatore nei punti sviluppati per questo lavoro:

Sosa-Galindo, Daniel: Ha supportato l'applicazione dei metodi e delle tecniche di ricerca e la revisione dell'articolo.

Castillo-Gutiérrez, Antonio: Ha ideato il progetto, i metodi e le tecniche di ricerca applicate. Ha supportato lo sviluppo della sperimentazione e ha eseguito l'analisi dei dati.

Fuentes-Albarrán, María del Carmen: Ha contribuito alla stesura del documento e all'analisi dei risultati e dei dati raccolti.

Alarcón-Hernández, Fidel Benjamín: Ha diretto il progetto di ricerca riportato nell'articolo e ha eseguito l'analisi e l'interpretazione dei risultati. Ha anche scritto l'articolo finale.

Disponibilità di dati e materiali

Tutti i dati utilizzati a sostegno dei risultati di questo studio sono inclusi nell'articolo.

Finanziamento

Questo lavoro è stato finanziato dal PRODEP [DSA/103.5/14/10703].

Ringraziamenti

Gli autori sono grati alla Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc dell'Universidad Autónoma del Estado de Morelos per le strutture messe a disposizione.
o carry out this research.

Abbreviations

CC	Contenuto relativo di clorofilla
LSD	Differenza minima significativa
VUM	Varietà Universidad de Morelos

Riferimenti

Antecedenti

Abu-Ria, M. E., Elghareeb, E. M., Shukry, W. M., Abo-Hamed, S. A., & Ibraheem, F. [2024]. [Mitigation of drought stress in maize and sorghum by humic acid: differential growth and physiological responses.](#) *BMC Plant Biology*, 24[1], 514.

Brewer, K., Clulow, A., Sibanda, M., Gokool, S., Naiken, V., & Mabhaudhi, T. [2022]. [Predicting the chlorophyll content of maize over phenotyping as a proxy for crop health in smallholder farming systems.](#) *Remote Sensing*, 14[3], 518.

Chen, R., Ren, L., Yang, G., Cheng, Z., Zhao, D., Zhang, C., Feng, H., Hu, H., & Yang, H. [2025]. [Estimation of leaf chlorophyll content of maize from hyperspectral data using E2D COS feature selection, deep neural network, and transfer learning.](#) *Agriculture*, 15[10], 1072.

Lai, Z., Kou, H., Fan, J., Yang, R., Xu, X., Zhang, F., & Li, S. [2023]. [Optimized planting density and nitrogen rate increased grain yield and water nitrogen use efficiency of two maize cultivars under mulched drip fertigation by improving population photosynthesis and grain filling characteristics.](#) *Water*, 15[1], 163.

Li, G., Long, H., Zhang, R., Xu, A., & Niu, L. [2024]. [Photosynthetic traits, water use and the yield of maize are influenced by soil water stability.](#) *Agronomy*, 14[1], 16.

Li, W., Pan, K., Liu, W., Xiao, W., Ni, S., & Shi, P. [2023]. [Monitoring Maize Canopy Chlorophyll Content throughout the Growth Stages Based on UAV MS and RGB Feature Fusion.](#) *Remote Sensing*, 15[1], 169.

- Liu, P., Xiang, C., Liu, K., Yu, H., Liao, Z., Shen, Y., Liu, L., & Ma, L. [2024]. Genome-wide association study reveals genetic basis and candidate genes for chlorophyll content of leaves in maize [*Zea mays* L.]. *PeerJ*, 12, e18278.
- Luqman, M., Shahbaz, M., Maqsood, M. F., Farhat, F., Zulfiqar, U., Siddiqui, M. H., Masood, A., Aqeel, M., & Haider, F. U. [2023]. Effect of strigolactone on growth, photosynthetic efficiency, antioxidant activity, and osmolytes accumulation in different maize [*Zea mays* L.] hybrids grown under drought stress. *Plant Signaling & Behavior*, 18[1], 2262795.
- Šerá, B., Vanková, R., Roháček, K., & Šerý, M. [2021]. Gliding Arc Plasma Treatment of Maize [*Zea mays* L.] Grains Promotes Seed Germination and Early Growth, Affecting Hormone Pools, but Not Significantly Photosynthetic Parameters. *Agronomy*, 11[10], 2066.
- Škarpa, P., Klofáč, D., Krčma, F., Šimečková, J., & Kozáková, Z. [2020]. Effect of plasma activated water foliar application on selected growth parameters of maize [*Zea mays* L.]. *Water*, 12[12], 3545.
- Sun, J., Yang, L., Yang, X., Wei, J., Li, L., Guo, E., & Kong, Y. [2021]. Using spectral reflectance to estimate the leaf chlorophyll content of maize inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under water stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646173.
- Wang, Z., Ren, T., Zhou, M., Chen, S., Fu, D., & Qin, S. [2023]. Experimental Study on the Effect of Low-Temperature Air Plasma Activated Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 9[6], 333–340.
- Yasin, S., Zavala-García, F., Niño-Medina, G., Rodríguez-Salinas, P. A., Gutiérrez-Diez, A., Sinagawa-García, S. R., & Lugo-Cruz, E. [2024]. Morphological and physiological response of maize [*Zea mays* L.] to drought stress during reproductive stage. *Agronomy*, 14[8], 1718.
- Zhao, L., Duan, X., Zhang, X., Zhang, X., Song, L., Chen, P., Liang, M., Zhang, C., & Wang, C. [2025]. Planting Strategy Optimization Can Increase Maize Yield by Delaying Leaf Senescence and Improving Photosynthetic Capacity. *Agronomy*, 15[5], 1099.
- Discussione**
- Antonietta, M., Martinez, D., & Guiamet, J. J. [2024]. Delayed senescence and crop performance under stress: always a functional couple? *Journal of Experimental Botany*, 75[14], 4244–4257.
- Judée, F., & Dufour, T. [2020]. Seed-packed dielectric barrier device for plasma agriculture: Understanding its electrical properties through an equivalent electrical model. *Journal of Applied Physics*, 128[4].
- Kamseu-Mogo, J.-P., Soulier, M., Kamgang-Youbi, G., Mafouasson, H. N. A., & Dufour, T. [2024]. Advancements in maize cultivation: Synergistic effects of dry atmospheric plasma combined with plasma-activated water. *Journal of Physics D: Applied Physics*.
- Lei, P., Yu, F., & Liu, X. [2023]. Recent advances in cellular degradation and nuclear control of leaf senescence. *Journal of Experimental Botany*, 74[18], 5472–5486.
- Luo, X., Croft, H., Chen, J. M., He, L., & Keenan, T. F. [2019]. Improved estimates of global terrestrial photosynthesis using information on leaf chlorophyll content. *Global Change Biology*, 25[7], 2499–2514.
- Qi, Z., Xu, C., Tang, R., Zhang, Q., Sun, W., Guan, C., Wang, Y., Zhang, M., Ding, J., Zhang, Y., Yang, H., Yang, Y., Liu, X., Zhang, Z., & Ling, F. [2025]. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to nitrogen changes in rice with different nitrogen use efficiencies. *Plants*, 14[10], 1465.
- Qian, X., Liu, L., Croft, H., & Chen, J. [2021]. Relationship between leaf maximum carboxylation rate and chlorophyll content preserved across 13 species. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126[2], e2020JG006076.

Yang, C., Du, S., Shi, Y., Zhang, D., Yue, J., Li, X., Jin, H., Fang, B., Wei, F., Zhang, Z., & Yan, G. [2025]. [Differential sensitivity of photosynthetic electron transport to dark-induced senescence in wheat flag leaves.](#) *BMC Plant Biology*, 25, Article 650.

Yu, L., Luo, X., Croft, H., Rogers, C. A., & Chen, J. M. [2024]. [Seasonal variation in the relationship between leaf chlorophyll content and photosynthetic capacity.](#) *Plant, Cell & Environment*, 47[10], 3953-3965.

Zhou, Z., Struik, P. C., Gu, J., van der Putten, P. E. L., Wang, Z., Yin, X., & Yang, J. [2023]. [Enhancing leaf photosynthesis from altered chlorophyll content requires optimal partitioning of nitrogen.](#) *Crop and Environment*, 2[1], 24-36.

Assistenza

Hosseinpour, A., Fazaeli, M., Hedayati, S., Hosseini, S. M. H., & Niakousari, M. [2024]. [Effect of cold plasma on the physicochemical characteristics of granular cold water swelling maize starch.](#) *Food Science and Technology*, 213, 117044.

Judée, F., & Dufour, T. [2020]. [Seed-packed dielectric barrier device for plasma agriculture: Understanding its electrical properties through an equivalent electrical model.](#) *Journal of Applied Physics*, 128[4].



Kamseu-Mogo, J.-P., Soulier, M., Kamgang-Youbi, G., Mafouasson, H. N. A., & Dufour, T. [2024]. [Advancements in maize cultivation: Synergistic effects of dry atmospheric plasma combined with plasma-activated water.](#) *Journal of Physics D: Applied Physics*.



Šerá, B., Vanková, R., Roháček, K., & Šerý, M. [2021]. [Gliding Arc Plasma Treatment of Maize \[Zea mays L.\] Grains Promotes Seed Germination and Early Growth, Affecting Hormone Pools, but Not Significantly Photosynthetic Parameters.](#) *Agronomy*, 11[10], 2066.


Analisi e calcolo delle impedenze di sequenza delle linee di trasmissione sotterranee



Análisis y cálculo de las impedancias de secuencia de líneas de transmisión subterráneas

Aguilar-Marin, Jorge Luis ^a, Cisneros-Villalobos, Luis * ^b, Sánchez-Jaime, Jorge ^c e Vera-Dimas, José Gerardo ^d

^a  Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería •  0000-0002-0235-6946

^b  Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería •  0000-0002-9409-1374

^c  Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Toluca •  0000-0002-4674-8247

^d  Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería •  0000-0002-3880-3568

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.20.34>

Area: Ingegneria

Campo: Scienze tecnologiche

Disciplina: Tecnologia elettrica

Sottodisciplina: Grandezze elettriche e loro misurazione

Punti chiave del manuale

Questo capitolo contribuisce alla scienza e alla tecnologia consolidando una metodologia integrata e riproducibile per il calcolo delle impedenze di sequenza nelle linee di trasmissione sotterranee con circuiti in parallelo, articolando le equazioni di Carson, la costruzione e la partizione della matrice primitiva, la riduzione di Kron e la trasformazione in componenti simmetriche; formalizza il trattamento matriciale di configurazioni con neutri concentrici e conduttore di continuità e incorpora la modellizzazione del GMR equivalente e della resistenza del neutro, collegando geometria, materiali e ritorno a terra con Z_0 , Z_1 e Z_2 . Per la generazione di conoscenza universale, gli aspetti chiave sono esplicitare ipotesi e limiti [frequenza, resistività, trasposizione], garantire la tracciabilità dei dati [GMR, distanze, resistenze] con tabelle standardizzate, utilizzare trasformazioni invarianti, favorire la riproducibilità e la validazione sperimentale, effettuare analisi di sensibilità e incertezza e generalizzare a terreni stratificati, linee non trasposte e modelli dipendenti dalla frequenza. In sintesi, la procedura proposta è coerente, modulare e applicabile, la sequenza zero è fortemente governata dal ritorno a terra e dal neutro/schermi, in linee completamente trasposte si verifica $Z_1=Z_2$, e le impedenze dipendono dalla geometria, dai materiali e dal mezzo, si raccomanda di caratterizzare il terreno, valutare gli schemi di collegamento degli schermi e supportare la progettazione con la convalida e l'analisi probabilistica.

Area: Promozione della ricerca all'avanguardia e della scienza di base in tutti i campi del sapere.

Citazione: Aguilar-Marin, Jorge Luis, Cisneros-Villalobos, Luis, Sánchez-Jaime, Jorge e Vera-Dimas, José Gerardo. 2025. Analisi e calcolo delle impedenze di sequenza delle linee di trasmissione sotterranee. 20-34. PIREQA.

* ✉ [\[luis.cisneros@uaem.mx\]](mailto:luis.cisneros@uaem.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



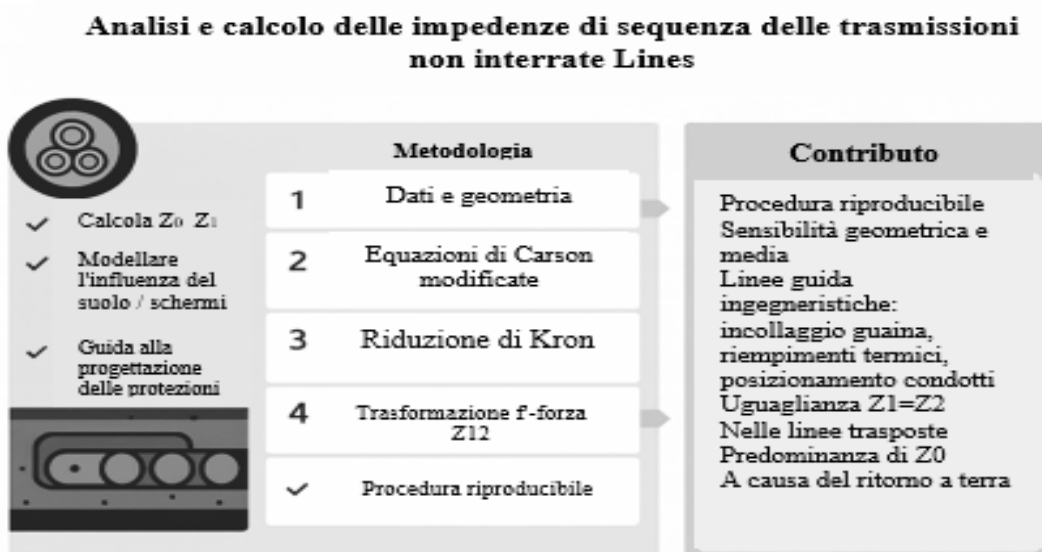
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

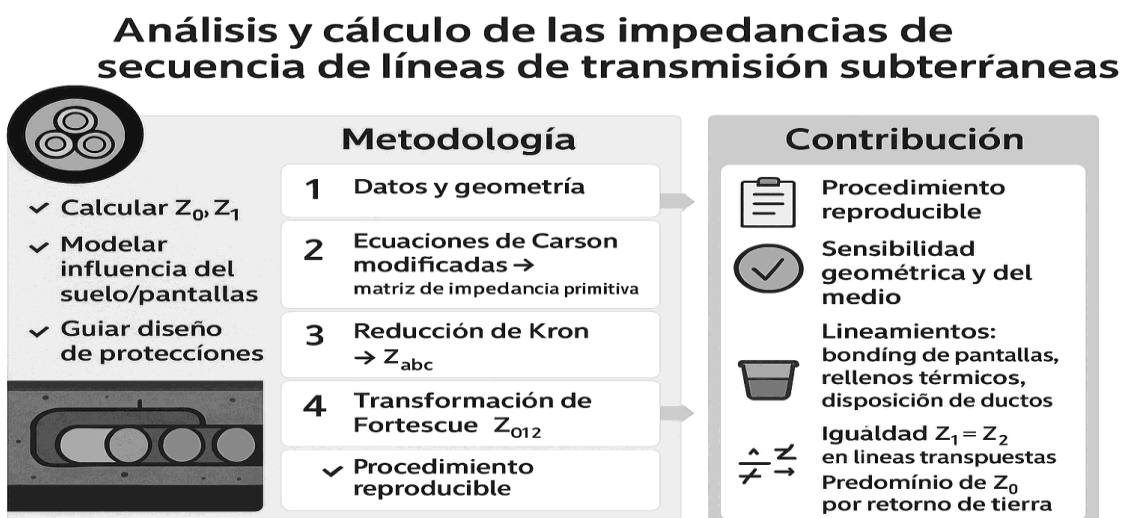
Questo capitolo presenta una metodologia rigorosa per la modellizzazione e il calcolo delle impedenze di sequenza [zero, positive e negative] nelle linee di trasmissione sotterranee con circuiti paralleli. Vengono descritte le parti costitutive del cavo di potenza e le principali alternative di installazione, evidenziandone l'impatto elettrico e termico. Il calcolo si basa sulle equazioni di Carson, sulla formazione della matrice di impedenza primitiva e sulla riduzione di Kron per ottenere la matrice di fase Z_{abc} , e la trasformazione in componenti simmetriche per ricavare Z_{012} . Viene utilizzato il metodo della distanza media geometrica [GMD], che incorpora parametri geometrici e ambientali [GMR, spaziatura dei conduttori, resistività del suolo e messa a terra della schermatura]. Il ruolo dominante del ritorno di terra e del neutro concentrico in Z_0 e l'uguaglianza $Z_1 = Z_2$ in fase di recepimento, con implicazioni per il coordinamento dei guasti e della protezione.



Impedenze di sequenza, Equazioni di Carson, Riduzione di Kron

Resumen

Este capítulo presenta una metodología rigurosa para modelar y calcular las impedancias de secuencia [cero, positiva y negativa] en líneas de transmisión subterráneas con circuitos en paralelo. Se describen las partes constitutivas del cable de potencia y las principales alternativas de instalación, destacando su impacto eléctrico y térmico. El cálculo se fundamenta en las ecuaciones de Carson, la formación de la matriz de impedancia primitiva, la reducción de Kron para obtener la matriz de fase Z_{abc} y la transformación a componentes simétricas para derivar Z_{012} . Se emplea el método de distancias medias geométricas [GMD] y se incorporan parámetros geométricos y del medio [GMR, separación entre conductores, resistividad del suelo, puesta a tierra de pantallas]. Se discute el rol dominante del retorno por tierra y del neutro concéntrico en Z_0 y la igualdad $Z_1 = Z_2$ bajo transposición, con implicaciones para fallas y coordinación de protecciones.



Impedancias de secuencia, ecuaciones de Carson, reducción de Kron

Introduzione

Lo sviluppo e la crescita dei sistemi elettrici di potenza hanno portato alla necessità di un costante ammodernamento delle infrastrutture di trasmissione dell'energia. In questo contesto, le **linee di trasmissione sotterranee** hanno acquisito un'importanza sempre maggiore, non solo per ragioni tecniche, ma anche per fattori estetici, ambientali e di disponibilità di spazio nelle aree urbane densamente popolate. Queste linee, essendo interrato, presentano caratteristiche elettriche significativamente diverse da quelle delle loro controparti aeree, soprattutto per quanto riguarda i parametri di funzionamento in condizioni normali e di guasto.

Uno degli aspetti fondamentali nello studio di qualsiasi linea di trasmissione, e in particolare di quelle sotterranee, è l'analisi delle loro **impedenze di sequenza**. Queste impedenze: positiva, negativa e zero, sono fondamentali per comprendere il comportamento della linea in caso di **guasti asimmetrici**, nonché per la progettazione e il corretto coordinamento dei sistemi di protezione. Le differenze geometriche, dielettriche e di configurazione del ritorno di terra che esistono tra le linee aeree e quelle sotterranee rendono il calcolo di queste impedenze nei cavi sotterranei più rigoroso e dettagliato, tenendo conto non solo dei parametri del conduttore, ma anche dell'influenza della schermatura, della resistività del terreno e dell'effetto di prossimità tra le fasi.

Il **modello di linee di trasmissione mediante matrici di parametri longitudinali** [resistenza, induttanza, capacità e conduttanza per unità di lunghezza] consente di rappresentare con precisione il comportamento di una linea trifase, sia in regime permanente che in condizioni transitorie. Tuttavia, ai fini dell'analisi dei guasti, questo modello viene solitamente trasformato mediante la **trasformazione di sequenza**, che consente di disaccoppiare il sistema in tre componenti simmetriche: **sequenza positiva**, **sequenza negativa** e **sequenza zero**. Ciascuna di queste sequenze risponde in modo diverso a diversi tipi di disturbi e la loro analisi individuale consente di semplificare notevolmente lo studio di fenomeni complessi.

Il presente capitolo ha come obiettivo principale quello di presentare il **processo di analisi e calcolo delle impedenze di sequenza** nelle linee di trasmissione sotterranee, affrontando sia i fondamenti teorici che i metodi pratici per la loro determinazione. Verrà studiata l'influenza di diversi fattori fisici sul comportamento dell'impedenza di sequenza zero, che di solito rappresenta la sfida maggiore per la necessità di modellare il ritorno a terra e gli effetti della schermatura metallica dei cavi. Verranno inoltre discusse le metodologie più comuni utilizzate in ingegneria per eseguire questi calcoli. Attraverso questa analisi, si cerca di fornire al lettore una comprensione completa del comportamento elettrico delle linee sotterranee in caso di guasti, nonché gli strumenti necessari per modellarle adeguatamente negli studi di protezione, coordinamento e stabilità dei sistemi elettrici. La padronanza di questi concetti è essenziale per gli ingegneri e gli specialisti dei sistemi di potenza che partecipano alla progettazione, al funzionamento e alla manutenzione di infrastrutture di trasmissione moderne e affidabili.

Linee di trasmissione sotterranee

Cavi di potenza.

I cavi di potenza sono il componente essenziale di una linea di trasmissione sotterranea. La loro principale differenza rispetto ai cavi nudi utilizzati nelle linee aeree risiede nell'incorporazione di un materiale isolante, poiché nelle linee aeree l'isolamento è fornito dall'aria. Questo materiale isolante ne consente l'installazione sottoterra, dove le condizioni operative richiedono maggiore robustezza e affidabilità.

La corretta progettazione, installazione, funzionamento e manutenzione del cavo di potenza è determinante per garantire il funzionamento efficiente del sistema elettrico a cui appartiene. A seconda del livello di tensione e delle condizioni ambientali, come ambienti umidi, sottomarini o altamente corrosivi, il cavo può acquisire diversi livelli di complessità strutturale.

La Figura 1 illustra le parti principali che compongono un cavo di potenza [Allkabel, 2013].

Scatola 1

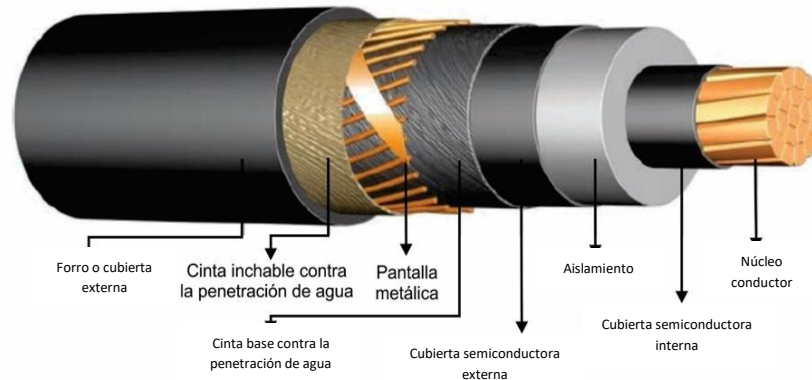


Figura 1

Elementi principali che compongono un cavo di alimentazione.

[Allkabel, 2013]

Parti costitutive del cavo di alimentazione.

- *Anima conduttrice*: ha il compito di trasportare l'energia elettrica e deve farlo in modo efficiente. I materiali più utilizzati sono il rame e l'alluminio, anche se quest'ultimo ha recentemente guadagnato popolarità grazie al suo costo relativamente inferiore rispetto alla volatilità del prezzo del rame [Moore, 2007]. Nei sistemi di trasmissione ad alta potenza, dove le sezioni trasversali superano i 1200 mm², si preferisce l'uso di conduttori intrecciati per migliorare la flessibilità e ridurre gli effetti pelle e di prossimità [Heinhold, 2010].
- *Strato semiconduttore sul conduttore*: applicato per estrusione o mediante nastri, questo strato evita irregolarità che provocano concentrazioni del campo elettrico nell'isolamento, riducendo rischi quali la formazione di arborescenza e guasti dielettrici [Dorf, 2015].
- *Isolamento*: è il dielettrico incaricato di confinare le cariche elettriche. Può essere solido estruso o nastrato e deve soddisfare requisiti rigorosi quali resistenza alle sollecitazioni elettriche, stabilità termica e flessibilità per la sua installazione [Henao & Mesa, 2023].
- *Strato semiconduttore sull'isolamento*: fornisce una superficie cilindrica uniforme e funge da transizione tra l'isolamento attivo e lo schermo metallico collegato a terra. Contribuisce alla corretta distribuzione del campo elettrico [Dorf, 2015], [Grigsby, 2007].
- *Schermo metallico*: la sua funzione principale è quella di eliminare il campo elettrico esterno e condurre sia le correnti capacitive normali che quelle di guasto. A seconda del design, può essere composto da fili di rame, nastri elicoidali o rivestimenti metallici completi. Questi schermi devono essere collegati a terra per proteggere il personale e preservare l'integrità del cavo [Grigsby, 2007], [Nexans France S.A.S., n.d.], [CIGRE, 2001], [Electric Power Research Institute, 2006].
- *Barriera contro l'umidità*: viene utilizzata per impedire la penetrazione dell'acqua all'interno del cavo. Può essere costituita da nastri o rivestimenti metallici in piombo, alluminio o rame. Può anche includere nastri di alluminio con plastica, integrati con materiali espansivi che impediscono la penetrazione dell'umidità.
- *Rivestimento protettivo esterno*: è la prima linea di difesa contro danni meccanici, chimici e ambientali. Deve offrire un'elevata resistenza meccanica, isolamento elettrico, rigidità dielettrica e resistenza al fuoco. Questo strato è fondamentale per determinare la durata utile del cavo [Henao & Mesa, 2023].

Tipi di installazione dei cavi sotterranei

La corretta installazione dei cavi di potenza è fondamentale per garantire le prestazioni termiche ed elettriche del sistema sotterraneo. Esistono diverse tecniche a seconda del tipo di terreno, delle restrizioni fisiche, economiche e ambientali.

1. *Riempimento termico.* Consiste nel sostituire il terreno naturale estratto durante lo scavo con materiali a bassa resistività termica, con l'obiettivo di migliorare la dissipazione del calore generato dai cavi. Questi materiali devono essere termicamente stabili, facili da installare ed economici.

Inoltre, i riempimenti termici offrono una soluzione semplice ed efficace per aumentare la capacità di trasmissione dei cavi. La scelta del materiale dipenderà dal tipo di terreno e dalle condizioni climatiche del luogo del progetto.

2. *Banco di condotti.* Si tratta di una canalizzazione che raggruppa più condotti in cui sono alloggiati i cavi di potenza. Questa configurazione consente di eseguire i lavori di ingegneria civile indipendentemente dall'installazione elettrica, facilita la manutenzione e permette di incorporare altri servizi come la fibra ottica.

Le configurazioni possono essere triangolari, verticali o orizzontali. La scelta del design dipende da fattori quali lo spazio disponibile, il tipo di terreno, i costi e l'impatto ambientale.

3. *Perforazione orizzontale guidata [HDD].* Questa tecnica è ideale in zone dove esistono ostacoli superficiali che impediscono lo scavo convenzionale. Mediante sistemi di perforazione elettronica, è possibile installare condotti sotterranei con una minima alterazione del terreno [Krames, Rodenbaugh, & Conroy, 1994].

Il metodo HDD consente di evitare le installazioni esistenti e di seguire traiettorie programmate con precisione. Questa tecnologia è particolarmente utile in ambienti urbani densamente popolati.

4. *Trincee.* Le trincee sono strutture superficiali utilizzate in aree dove non è possibile effettuare scavi profondi. Consentono un facile accesso ai cavi, facilitando la manutenzione, e offrono un migliore comportamento termico nei terreni asciutti.

Questo metodo è comunemente utilizzato all'interno di impianti industriali o protetti, dove il cavo può essere facilmente ispezionato tramite coperture rimovibili in cemento o metallo.

5. *Tunnel e gallerie.* Consigliati quando è necessario installare più circuiti elettrici, specialmente in aree urbane dove non è possibile effettuare scavi estesi. Questa soluzione è adatta anche quando non è possibile utilizzare tubi interrati o banchi di condotte.

Il loro principale vantaggio è che consentono di mantenere un'elevata capacità di trasmissione e un accesso sicuro per l'ispezione e la manutenzione [CIGRE, 2001].

Metodologia

Per calcolare le **impedenze di sequenza** nelle linee di trasmissione con **circuiti in parallelo** si utilizzano le **equazioni di Carson**, oggi ampiamente utilizzate per ottenere i parametri delle linee aeree e sotterranee [Kersting, 2001]. Le equazioni di Carson sono le seguenti:

Impedenza propria:

$$\hat{Z}_{ii} = r_i + 4wP_{ii}G + j \left(X_i + 2wG \cdot \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} + 4wQ_{ii}G \right) \frac{\Omega}{km} \quad [1]$$

Impedenza reciproca:

$$\hat{Z}_{ij} = 4wP_{ij}G + j \left(2wG \cdot \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 4wQ_{ij}G \right) \frac{\Omega}{km} \quad [2]$$

Nelle equazioni di Carson, l'impedenza propria del conduttore \hat{Z}_{ii} e l'impedenza reciproca \hat{Z}_{ij} tra i conduttori i e j , in Ω/km sono espressi in funzione della resistenza del conduttore r_i in Ω/km , della frequenza angolare w in rad/s , e del termine costante $G: 0.1609344 \times 10^{-3}$ in Ω/km che cattura parte degli effetti di ritorno via terra. Il contributo geometrico viene incorporato tramite il raggio del conduttore RD_i in m e il suo raggio medio geometrico $[[GMR]]_i$ in m , mentre l'accoppiamento tra i conduttori dipende dalla resistività del terreno ρ in Ω/m , della distanza immagine S_{ij} in m — ovvero la separazione tra il conduttore i e l'**immagine** del conduttore j sul piano di terra — e dalla **distanza tra i conduttori** D_{ij} in m . Nel complesso, questi parametri consentono di descrivere con precisione le componenti reali e immaginarie di \hat{Z}_{ii} e \hat{Z}_{ij} , integrando perdite ohmiche, effetti di induttanza e influenza dell'ambiente circostante.

Considerando una frequenza di linea di 60 Hz e una resistività del suolo di $100 \Omega \cdot m$, si ottengono le seguenti equazioni di Carson modificate.

$$\hat{Z}_{ii} = r_i + 0.0953 + 0.12134j \left(\ln \frac{1}{GMR_i} + 7.93402 \right) \frac{\Omega}{km} \quad [3]$$

$$\hat{Z}_{ij} = 0.0953 + 0.12134j \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.93402 \right) \frac{\Omega}{km} \quad [4]$$

Le **equazioni 3 e 4** vengono utilizzate per calcolare gli elementi della **matrice di impedenza primitiva** del sistema. In un **segmento di linea sotterranea** collegata a terra che dispone di **tre neutri concentrici** [uno per ogni fase], la matrice primitiva risultante è 6×6 . Nel caso generale di una **linea trifase** con conduttori neutri associati, la **matrice di impedenza primitiva** assume la forma strutturata in blocchi che raggruppano **autoimpedenze** e **impedenze reciproche** tra fasi, neutri e, se del caso, conduttori di continuità.

$$[\hat{Z}_{primitivo}] = \begin{bmatrix} \hat{Z}_{aa} & \hat{Z}_{ab} & \hat{Z}_{ac} & & \hat{Z}_{an1} & \hat{Z}_{an2} & \hat{Z}_{anm} \\ \hat{Z}_{ba} & \hat{Z}_{bb} & \hat{Z}_{bc} & \vdots & \hat{Z}_{bn1} & \hat{Z}_{bn2} & \hat{Z}_{bnm} \\ \hat{Z}_{ca} & \hat{Z}_{cb} & \hat{Z}_{cc} & \dots & \hat{Z}_{cn1} & \hat{Z}_{cn2} & \hat{Z}_{cnm} \\ \hat{Z}_{n1a} & \hat{Z}_{n1b} & \hat{Z}_{n1c} & & \hat{Z}_{n1n1} & \hat{Z}_{n1n2} & \hat{Z}_{n1nm} \\ \hat{Z}_{n2a} & \hat{Z}_{n2b} & \hat{Z}_{n2c} & \vdots & \hat{Z}_{n2n1} & \hat{Z}_{n2n2} & \hat{Z}_{n2c} \\ \hat{Z}_{nma} & \hat{Z}_{nmb} & \hat{Z}_{nmc} & & \hat{Z}_{nmn1} & \hat{Z}_{n2n2} & \hat{Z}_{n2nm} \end{bmatrix} \quad [5]$$

Nella sua forma suddivisa, l'equazione 5 può essere riscritta per distinguere chiaramente le relazioni tra i diversi sottoinsiemi di conduttori:

$$[\hat{Z}_{primitivo}] = \begin{bmatrix} [\hat{Z}_{ij}] & [\hat{Z}_{in}] \\ [\hat{Z}_{nj}] & [\hat{Z}_{nn}] \end{bmatrix} \quad [6]$$

Per ottenere le impedenze di sequenza [zero, negativa e positiva] dei segmenti di linea, vengono prima calcolate le autoimpedenze e le impedenze reciproche mediante le equazioni di Carson modificate; quindi, viene applicata la riduzione di Kron per eliminare i conduttori ausiliari e ottenere la matrice di impedenza di fase. In particolare, la matrice di impedenza primitiva viene ridotta a una matrice 3×3 che rappresenta l'equivalente delle impedenze tra le tre fasi. Questa procedura di condensazione effettuata mediante la riduzione di Kron è espressa nell'equazione 7, dalla quale si procede infine alla trasformazione delle sequenze per calcolare Z_0 , Z_1 e Z_2 .

$$[Z_{abc}] = [Z_{ij}] - [Z_{in}] \cdot [Z_{nn}]^{-1} \cdot [Z_{nj}] \quad [7]$$

L'equazione 7 costituisce l'espressione finale della tecnica di riduzione di Kron. Di conseguenza, la matrice di impedenza di fase si ottiene tramite l'equazione 8.

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [8]$$

Il rapporto tra le tensioni di fase a terra e le tensioni di sequenza a terra è definito dalla seguente espressione:

$$\begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} VLG_0 \\ VLG_1 \\ VLG_2 \end{bmatrix} \quad [9]$$

Dove $a_s: 1 < 120$ e $a_s^2: 1 < 240$.

Nella sua forma condensata, l'equazione 9 può essere scritta come:

$$[VLG_{abc}] = [A_s] \cdot [VLG_{012}] \quad [10]$$

Donde:

$$[A_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \quad [11]$$

Le correnti di linea in ciascuna fase sono definite in modo analogo, seguendo la stessa formulazione utilizzata per le tensioni:

$$[I_{abc}] = [A_s] \cdot [I_{012}] \quad [12]$$

L'equazione 10 consente di determinare le componenti di sequenza delle tensioni linea-terra, esprimendole come funzione delle tensioni fase-terra.:

$$[VLG_{012}] = [A_s]^{-1} \cdot [VLG_{abc}] \quad [13]$$

Dove:

$$[A_s]^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s & a_s^2 \\ 1 & a_s^2 & a_s \end{bmatrix} \quad [14]$$

Pertanto:

$$[VLG_{012}]_n = [VLG_{012}]_n + [Z_{012}] \cdot [I_{012}] \quad [15]$$

Dove:

$$[Z_{012}] = [A_s]^{-1} \cdot [Z_{abc}] \cdot [A_s] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad [16]$$

Pertanto, l'espressione delle tensioni si sviluppa nel modo seguente:

$$\begin{bmatrix} VLG_0 \\ VLG_1 \\ VLG_2 \end{bmatrix}_n = \begin{bmatrix} VLG_0 \\ VLG_1 \\ VLG_2 \end{bmatrix}_m + \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad [17]$$

Z_{00} è l'impedenza di sequenza zero, Z_{11} impedenza di sequenza positiva e Z_{22} impedenza di sequenza negativa.

Per **determinare le impedenze di sequenza** si utilizza il metodo delle **distanze geometriche medie [GMD]**. In questo approccio, la **GMD tra le fasi** e la **GMD tra i neutri concentrici** sono definite a partire dai prodotti geometrici delle rispettive separazioni [elevati alle potenze frazionarie corrispondenti], come indicato di seguito:

$$D_{ij} = GMD_{ij} = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}} \text{ m} \quad [18]$$

Il GMD tra le fasi e il conduttore di continuità è definito come:

$$D_{in} = GMD_{in} = \sqrt[3]{D_{an} \cdot D_{bn} \cdot D_{cn}} \text{ m} \quad [19]$$

I GMD vengono sostituiti nelle equazioni 3 e 4 per calcolare le autoimpedenze e le reciproche della linea, ottenendo così le espressioni risultanti.

$$\hat{Z}_{nn} = r_n + 0.0953 + 0.12134j \left(\ln \frac{1}{GMR_n} + 7.93402 \right) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [20]$$

$$\hat{Z}_{in} = 0.0953 + 0.12134j \left(\ln \frac{1}{D_{in}} + 7.93402 \right) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [21]$$

Applicando la riduzione di Kron e la trasformazione in componenti simmetriche, si ottengono le espressioni corrispondenti alle impedenze di sequenza zero, positiva e negativa della linea.

$$\hat{Z}_{00} = \hat{Z}_{ii} + 2 \cdot \hat{Z}_{ij} - 3 \left(\frac{\hat{Z}_{in}}{\hat{Z}_{nn}} \right) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [22]$$

$$\hat{Z}_{11} = Z_{22} = \hat{Z}_{ii} - \hat{Z}_{ij} \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [23]$$

$$\hat{Z}_{11} = Z_{22} = r_i + 0.12134j \left(\ln \frac{D_{ij}}{GMR_i} + 7.93402 \right) \frac{\Omega}{\text{km}} \quad [24]$$

La Figura 2 mostra la configurazione tipica di tre cavi sotterranei [tre fasi] con conduttore di continuità. In questa configurazione, le equazioni di Carson sono pienamente applicabili e il circuito equivalente porta a una matrice di impedenza primitiva di 7x7 [tre fasi + tre neutri concentrici + conduttore di continuità]. Al contrario, per i circuiti sotterranei senza conduttore di continuità, la matrice primitiva risultante è di 6x6 [tre fasi + tre neutri].

Scatola 2

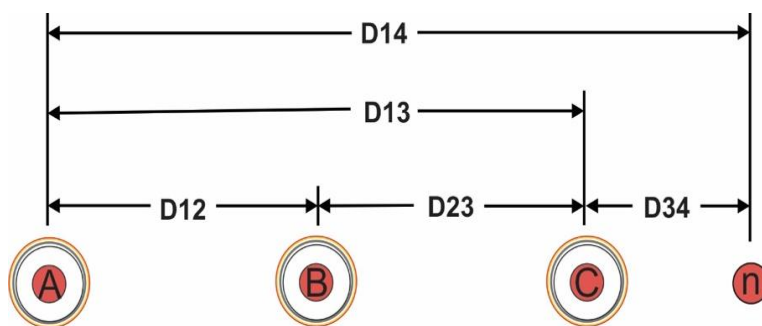


Figura 2

Circuito trifase con neutro aggiuntivo.

Elaborazione propria

I raggi geometrici medi [GMR] dei conduttori di fase e di ciascun filo del neutro sono ricavati dalle tabelle standardizzate del produttore o dalla norma. Il GMR equivalente del neutro concentrico per conduttori raggruppati viene calcolato mediante l'equazione 25, in funzione del numero di fili, del GMR individuale di ciascun filo e del raggio del cerchio che passa per i loro centri [vedere l'equazione 26].

$$GMR_{cn} = \sqrt[k]{GMR_s \cdot k \cdot R^{k-1}} \quad m \quad [25]$$

k il numero di fili neutri concentrici, GMR_s è il raggio medio geometrico di un filo neutro, in m e R è il raggio di un cerchio che passa per il centro del neutro concentrico, in m .

$$R = \frac{d_{od} - d_s}{24} \quad m \quad [26]$$

d_{od} è il diametro esterno del cavo sui neutri concentrici, in m e d_s è il diametro di un filo concentrico neutro, in m .

La resistenza equivalente del neutro concentrico viene determinata ipotizzando n fili identici in parallelo:

$$r_{cn} = \frac{r_s}{k} \quad \frac{\Omega}{km} \quad [27]$$

r_s è la resistenza di un filo neutro solido, in Ω/km [Kersting, 2001].

Risultati

Si analizza una linea di trasmissione da 115 kV, 60 Hz, costituita da due circuiti in parallelo e un conduttore di continuità. Ogni circuito utilizza un cavo da 115 kV, 1000 kcmil, lo schermo del conduttore è costituito da 32 fili di rame #14. I diametri e le distanze delle fasi, nonché la loro relazione con il conduttore di continuità, sono mostrati nella Figura 3. Con queste informazioni, è necessario determinare: [i] la matrice delle impedenze serie di fase [ii] la matrice delle impedenze di sequenza.

I dati per il conduttore di fase e i fili del neutro concentrico sono ottenuti dall'allegato A.

- Conduttore di fase:

$$d_c = 0.0269 \text{ m}, GMR_i = 0.0128 \text{ m}, r_i = 0.0568 \text{ } \Omega/km.$$

- Fili concentrici in rame neutro.

$$d_{od} = 0.0918 \text{ m}, d_s = 0.001628 \text{ m}, GMR_s = 0.0006339 \text{ m}, r_s = 23.93 \text{ } \Omega/km, k = 32.$$

- Conduttore di continuità.

$$r_i = 0.2322 \text{ } \Omega/km, GMR_i = 0.0074 \text{ m}.$$

Scatola 3

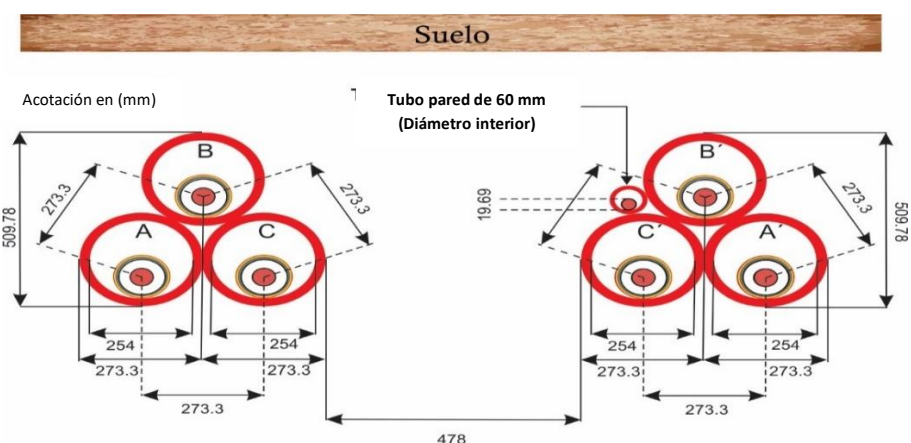


Figura 3

Disposizione delle fasi della linea di trasmissione.

Elaborazione propria

Determinazione del raggio del cerchio che passa per i centri dei fili del neutro concentrico, applicando l'equazione 26.

$$R = 0.039407 \text{ m}$$

Ottenimento del GMR equivalente del neutro concentrico secondo l'equazione 25.

$$GMR_{cn} = \sqrt[k]{GMR_s \cdot k \cdot R^{k-1}} = \sqrt[32]{0.0006339 \cdot 32 \cdot 0.039407^{32-1}} = 0.03859 \text{ m}$$

Calcolo della resistenza equivalente del neutro concentrico, secondo l'equazione 27:

$$r_{cn} = \frac{r_s}{k} = \frac{23.93}{32} = 0.7478 \frac{\Omega}{km}$$

I **conduttori di fase del circuito 1** sono identificati come **A, B e C**; quelli del **circuito 2** come **A', B' e C'**. I corrispondenti **neutri concentrici** sono indicati con **A'', B'', C''** [circuito 1] e **A''', B''', C'''** [circuito 2]. Inoltre, si considera un **conduttore di continuità N**. Con questa nomenclatura, e dopo aver calcolato le **distanze** rilevanti [fase-fase, neutro-fase, neutro-neutro, fase-N e neutro-N], l'**applicazione delle equazioni di Carson modificate** porta a una **matrice di impedenza primitiva di ordine 13x13** [6 fasi + 6 neutri + 1 conduttore di continuità]. In base all'equazione 6, tale matrice è espressa in **forma partizionata**, distinguendo gli accoppiamenti tra sottoinsiemi di conduttori:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{ij} & | & Z_{in} \\ - & - & - \\ Z_{nj} & | & Z_{nn} \end{bmatrix}$$

Z_{ij} è l'impedenza reciproca tra le fasi, in Ω/km , Z_{in} impedenza reciproca tra le fasi e il conduttore di continuità, in Ω/km , Z_{nj} impedenza reciproca tra il conduttore di continuità e le fasi, in Ω/km , Z_{nn} impedenza propria del conduttore di continuità, in Ω/km .

Dove:

$$Z_{ij} = \begin{bmatrix} Z_a & | & Z_b \\ - & - & - \\ Z_c & | & Z_d \end{bmatrix}$$

$$Z_a = \begin{bmatrix} 0.1521 + 1.4915j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j \\ 0.0953 + 1.1201j & 0.1521 + 1.4915j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j \\ 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.1521 + 1.4915j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 0.9974j \\ 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.1521 + 1.4915j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j \\ 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 1.1201j & 0.1521 + 1.4915j & 0.0953 + 1.1201j \\ 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 0.9974j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.1521 + 1.4915j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_b = \begin{bmatrix} 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9409j & 0.0953 + 0.9595j \\ 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 0.9426j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9741j \\ 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9713j & 0.0953 + 0.9972j \\ 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9409j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.1182j \\ 0.0953 + 0.9426j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9741j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1357j \\ 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9713j & 0.0953 + 0.9972j & 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.3551j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_c = \begin{bmatrix} 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9426j & 0.0953 + 0.9595j \\ 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 0.9409j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9713j \\ 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9741j & 0.0953 + 0.9972j \\ 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9426j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.1182j \\ 0.0953 + 0.9409j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9713j & 0.0953 + 1.1054j & 0.0953 + 1.3551j & 0.0953 + 1.1054j \\ 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9741j & 0.0953 + 0.9972j & 0.0953 + 1.1182j & 0.0953 + 1.1357j & 0.0953 + 1.3551j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_d = \begin{bmatrix} 0.8431 + 1.3576j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j \\ 0.0953 + 1.1201j & 0.8431 + 1.3576j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j \\ 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.8431 + 1.3576j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 0.9974j \\ 0.0953 + 0.9307j & 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.8431 + 1.3576j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j \\ 0.0953 + 0.9419j & 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 1.1201j & 0.8431 + 1.3576j & 0.0953 + 1.1201j \\ 0.0953 + 0.9595j & 0.0953 + 0.9728j & 0.0953 + 0.9974j & 0.0953 + 1.1201j & 0.0953 + 1.1201j & 0.8431 + 1.3576j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_{in} = \begin{bmatrix} 0.0953 + 1.0834j \\ 0.0953 + 0.9793j \\ 0.0953 + 0.9947j \\ 0.0953 + 1.0834j \\ 0.0953 + 1.1890j \\ 0.0953 + 1.1425j \\ 0.0953 + 0.9596j \\ 0.0953 + 0.9791j \\ 0.0953 + 0.9964j \\ 0.0953 + 1.0911j \\ 0.0953 + 1.1833j \\ 0.0953 + 1.1655j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_{nj} = \begin{bmatrix} 0.0953 + 1.0834j & 0.0953 + 0.9793j & 0.0953 + 0.9947j & 0.0953 + 1.0834j & 0.0953 + 1.1890j & 0.0953 + 1.1425j \\ 0.0953 + 0.9596j & 0.0953 + 0.9791j & 0.0953 + 0.9964j & 0.0953 + 1.0911j & 0.0953 + 1.1833j & 0.0953 + 1.1655j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_{nm} = [0.3275 + 1.5580j] \frac{\Omega}{km}$$

Una volta ottenuti gli elementi della matrice primitiva, si applica la riduzione di Kron per eliminare i conduttori ausiliari e ottenere la matrice delle impedenze serie di fase. Z_{abc} , secondo l'equazione 7:

$$[Z_{abc}] = [Z_{ij}] - [Z_{in}] \cdot [Z_{nm}]^{-1} \cdot [Z_{nj}]$$

Dove:

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} Z_A & | & Z_B \\ - & - & - \\ Z_C & | & Z_D \end{bmatrix}$$

$$Z_A = \begin{bmatrix} 0.1757 + 0.7489i & 0.1104 + 0.4481i & 0.1116 + 0.4377i & 0.1189 + 0.1881i & 0.1275 + 0.1277i & 0.1237 + 0.1768i \\ 0.1104 + 0.4481i & 0.1601 + 0.8835i & 0.1044 + 0.5026i & 0.1104 + 0.2699i & 0.1176 + 0.2226i & 0.1144 + 0.2645i \\ 0.1116 + 0.4377i & 0.1044 + 0.5026i & 0.1622 + 0.8644i & 0.1116 + 0.2771i & 0.1190 + 0.2245i & 0.1158 + 0.2781i \\ 0.1189 + 0.1881i & 0.1104 + 0.2699i & 0.1116 + 0.2771i & 0.1757 + 0.7489i & 0.1275 + 0.3059i & 0.1237 + 0.3374i \\ 0.1275 + 0.1277i & 0.1176 + 0.2226i & 0.1190 + 0.2245i & 0.1275 + 0.3059i & 0.1943 + 0.5988i & 0.1331 + 0.2620i \\ 0.1237 + 0.1768i & 0.1144 + 0.2645i & 0.1158 + 0.2781i & 0.1237 + 0.3374i & 0.1331 + 0.2620i & 0.1857 + 0.6666i \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_B = \begin{bmatrix} 0.1088 + 0.6965i & 0.1104 + 0.4336i & 0.1118 + 0.4346i & 0.1195 + 0.1829i & 0.1270 + 0.1305i & 0.1255 + 0.1612i \\ 0.1020 + 0.5398i & 0.1033 + 0.7472i & 0.1045 + 0.5172i & 0.1109 + 0.2659i & 0.1172 + 0.2261i & 0.1160 + 0.2517i \\ 0.1030 + 0.5130i & 0.1043 + 0.4880i & 0.1056 + 0.7269i & 0.1122 + 0.2723i & 0.1186 + 0.2266i & 0.1174 + 0.2636i \\ 0.1088 + 0.2721i & 0.1104 + 0.2691i & 0.1118 + 0.2759i & 0.1195 + 0.6073i & 0.1270 + 0.2950i & 0.1255 + 0.3199i \\ 0.1157 + 0.2204i & 0.1175 + 0.2228i & 0.1192 + 0.2245i & 0.1282 + 0.3158i & 0.1369 + 0.4666i & 0.1353 + 0.2605i \\ 0.1126 + 0.2653i & 0.1144 + 0.2632i & 0.1159 + 0.2767i & 0.1244 + 0.3300i & 0.1326 + 0.2513i & 0.1310 + 0.5138i \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_C = \begin{bmatrix} 0.1088 + 0.6965i & 0.1020 + 0.5398i & 0.1030 + 0.5130i & 0.1088 + 0.2721i & 0.1157 + 0.2204i & 0.1126 + 0.2653i \\ 0.1104 + 0.4336i & 0.1033 + 0.7472i & 0.1043 + 0.4880i & 0.1104 + 0.2691i & 0.1175 + 0.2228i & 0.1144 + 0.2632i \\ 0.1118 + 0.4346i & 0.1045 + 0.5172i & 0.1056 + 0.7269i & 0.1118 + 0.2759i & 0.1192 + 0.2245i & 0.1159 + 0.2767i \\ 0.1195 + 0.1829i & 0.1109 + 0.2659i & 0.1122 + 0.2723i & 0.1195 + 0.6073i & 0.1282 + 0.3158i & 0.1244 + 0.3300i \\ 0.1270 + 0.1305i & 0.1172 + 0.2261i & 0.1186 + 0.2266i & 0.1270 + 0.2950i & 0.1369 + 0.4666i & 0.1326 + 0.2513i \\ 0.1255 + 0.1612i & 0.1160 + 0.2517i & 0.1174 + 0.2636i & 0.1255 + 0.3199i & 0.1353 + 0.2605i & 0.1310 + 0.5138i \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

$$Z_D = \begin{bmatrix} 0.8485 + 0.7735i & 0.1020 + 0.5243i & 0.1031 + 0.5139i & 0.1093 + 0.2674i & 0.1153 + 0.2231i & 0.1141 + 0.2514i \\ 0.1020 + 0.5243i & 0.8511 + 0.7498i & 0.1045 + 0.5017i & 0.1109 + 0.2653i & 0.1172 + 0.2263i & 0.1159 + 0.2505i \\ 0.1031 + 0.5139i & 0.1045 + 0.5017i & 0.8535 + 0.7284i & 0.1123 + 0.2711i & 0.1188 + 0.2268i & 0.1175 + 0.2625i \\ 0.1093 + 0.2674i & 0.1109 + 0.2653i & 0.1123 + 0.2711i & 0.8679 + 0.6045i & 0.1277 + 0.3041i & 0.1262 + 0.3162i \\ 0.1153 + 0.2231i & 0.1172 + 0.2263i & 0.1188 + 0.2268i & 0.1277 + 0.3041i & 0.8842 + 0.4734i & 0.1347 + 0.2490i \\ 0.1141 + 0.2514i & 0.1159 + 0.2505i & 0.1175 + 0.2625i & 0.1262 + 0.3162i & 0.1347 + 0.2490i & 0.8809 + 0.4995i \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

Invertendo la matrice Z_{abc} si ottiene la matrice delle impedenze come mostrato di seguito:

$$(Z_{abc})^{-1} = \begin{bmatrix} Z_A & \vdots & Z_B & \vdots & Z_C & \vdots & Z_D \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_E & \vdots & Z_F & \vdots & Z_G & \vdots & Z_H \\ \dots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \dots \\ Z_I & \vdots & Z_J & \vdots & Z_K & \vdots & Z_L \\ \dots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \dots \\ Z_M & \vdots & Z_N & \vdots & Z_{\bar{N}} & \vdots & Z_O \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.0949 - 1.9624i & 0.0605 + 0.6146i & 0.0167 + 0.5908i & 0.0536 + 0.0648i & 0.1842 - 0.0280i & 0.1151 + 0.0368i \\ 0.0605 + 0.6146i & 1.0078 - 1.9463i & 0.0685 + 0.5743i & 0.0353 + 0.1129i & 0.0378 + 0.1597i & 0.0358 + 0.1563i \\ 0.0167 + 0.5908i & 0.0685 + 0.5743i & 0.9321 - 1.9894i & 0.0280 + 0.1349i & 0.0313 + 0.1518i & 0.0202 + 0.2281i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0.0536 + 0.0648i & 0.0353 + 0.1129i & 0.0280 + 0.1349i & 0.9302 - 1.9235i & 0.0771 + 0.5507i & 0.0251 + 0.5541i \\ 0.1842 - 0.0280i & 0.0378 + 0.1597i & 0.0313 + 0.1518i & 0.0771 + 0.5507i & 1.0971 - 2.1671i & 0.1113 + 0.4280i \\ 0.1151 + 0.0368i & 0.0358 + 0.1563i & 0.0202 + 0.2281i & 0.0251 + 0.5541i & 0.1113 + 0.4280i & 0.9502 - 2.0853i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0.9437 - 0.0202i & -0.1458 + 0.0617i & -0.0883 + 0.0583i & -0.0344 + 0.0097i & -0.0807 - 0.0188i & -0.0618 - 0.0019i \\ -0.0814 + 0.0585i & -0.9319 + 0.0357i & -0.0742 + 0.0546i & -0.0210 + 0.0159i & -0.0305 + 0.0211i & -0.0281 + 0.0195i \\ -0.0866 + 0.0544i & -0.1404 + 0.0544i & -0.8916 + 0.0221i & -0.0186 + 0.0154i & -0.0239 + 0.0184i & -0.0341 + 0.0221i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0.0033 + 0.0155i & -0.0164 + 0.0151i & -0.0188 + 0.0152i & -0.9024 + 0.0269i & -0.1334 + 0.0545i & -0.0793 + 0.0517i \\ 0.0148 + 0.0320i & -0.0342 + 0.0197i & -0.0300 + 0.0177i & -0.0709 + 0.0543i & -0.8850 + 0.0352i & -0.0445 + 0.0514i \\ 0.0143 + 0.0337i & -0.0262 + 0.0176i & -0.0351 + 0.0207i & 0.0758 + 0.0523i & -0.0961 + 0.0576i & -0.8632 + 0.0214i \\ -0.9437 - 0.0202i & -0.0814 + 0.0585i & -0.0866 + 0.0544i & -0.0033 + 0.0155i & 0.0148 + 0.0320i & 0.0143 + 0.0337i \\ -0.1458 + 0.0617i & -0.9319 + 0.0357i & -0.1404 + 0.0544i & -0.0164 + 0.0151i & -0.0342 + 0.0197i & -0.0262 + 0.0176i \\ -0.0883 + 0.0583i & -0.0742 + 0.0546i & -0.8916 + 0.0221i & -0.0188 + 0.0152i & -0.0300 + 0.0177i & -0.0351 + 0.0207i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0.0344 + 0.0097i & -0.0210 + 0.0159i & -0.0186 + 0.0154i & -0.9024 + 0.0269i & -0.0709 + 0.0543i & -0.0758 + 0.0523i \\ -0.0807 - 0.0188i & -0.0305 + 0.0211i & -0.0239 + 0.0184i & -0.1334 + 0.0545i & -0.8850 + 0.0352i & -0.0961 + 0.0576i \\ -0.0618 - 0.0019i & -0.0281 + 0.0195i & -0.0341 + 0.0221i & -0.0793 + 0.0517i & -0.0445 + 0.0514i & -0.8632 + 0.0214i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1.2509 - 0.1450i & -0.0198 - 0.0165i & -0.0165 - 0.0140i & -0.0040 - 0.0056i & -0.0033 - 0.0171i & -0.0017 - 0.0150i \\ -0.0198 - 0.0165i & 1.2577 - 0.1754i & -0.0185 - 0.0147i & -0.0044 - 0.0027i & -0.0069 - 0.0055i & -0.0057 - 0.0037i \\ -0.0165 - 0.0140i & -0.0185 - 0.0147i & 1.2657 - 0.1620i & -0.0039 - 0.0015i & -0.0056 - 0.0039i & -0.0063 - 0.0042i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0.0040 - 0.0056i & -0.0044 - 0.0027i & -0.0039 - 0.0015i & 1.2640 - 0.1634i & -0.0181 - 0.0137i & -0.0149 - 0.0116i \\ -0.0033 - 0.0171i & -0.0069 - 0.0055i & -0.0056 - 0.0039i & -0.0181 - 0.0137i & 1.2614 - 0.1670i & -0.0157 - 0.0065i \\ -0.0017 - 0.0150i & -0.0057 - 0.0037i & -0.0063 - 0.0042i & -0.0149 - 0.0116i & -0.0157 - 0.0065i & 1.2676 - 0.1540i \end{bmatrix}$$

Per ottenere la matrice delle impedenze serie di fase equivalenti $[Z_{abc}]$ è necessario utilizzare la seguente equazione, che dipende a sua volta dalla matrice $(Z_{abc})^{-1}$ mostrato in precedenza.

$$Z_{abc} = (Z_A + Z_B + Z_C + Z_D + Z_E + Z_F + Z_G + Z_H + Z_I + Z_J + Z_K + Z_L + Z_M + Z_N + Z_{\bar{N}} + Z_O)^{-1}$$

Sviluppando l'equazione precedente, si ottiene la seguente matrice di impedenze serie di fase equivalente:

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} 0.1606 + 0.4376i & 0.1315 + 0.2650i & 0.1315 + 0.2836i \\ 0.1315 + 0.2650i & 0.1751 + 0.4450i & 0.1381 + 0.2872i \\ 0.1315 + 0.2836i & 0.1381 + 0.2872i & 0.1739 + 0.4841i \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

Successivamente, per una linea completamente trasposta vengono utilizzate le seguenti equazioni, con le quali si ottiene la matrice delle impedenze serie di fase equivalente Z_{abc} . Il calcolo dei suoi elementi è organizzato in due gruppi: [i] i termini diagonali e [ii] i termini fuori dalla diagonale principale, come mostrato di seguito.

- Elementi della diagonale principale:

$$Z_{11} = \frac{1}{3}(0.1606 + 0.4376i + 0.1751 + 0.4450i + 0.1739 + 0.4841i)$$

$$Z_{11} = 0.1698 + 0.4555j \frac{\Omega}{km}$$

- Elementi fuori dalla diagonale principale:

$$Z_{12} = \frac{1}{3}(0.1315 + 0.2650i + 0.1315 + 0.2836i + 0.1381 + 0.2872i)$$

$$Z_{12} = 0.1337 + 0.2786j \frac{\Omega}{km}$$

Sostituendo i valori ottenuti per ciascun elemento, si ottiene la matrice delle impedenze in serie di fase per una linea completamente trasposta, che è:

$$Z_{abc} = \begin{bmatrix} 0.1698 + 0.4555j & 0.1337 + 0.2786j & 0.1337 + 0.2786j \\ 0.1337 + 0.2786j & 0.1698 + 0.4555j & 0.1337 + 0.2786j \\ 0.1337 + 0.2786j & 0.1337 + 0.2786j & 0.1698 + 0.4555j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

La matriz de las impedancias en secuencia para la línea trifase con neutro concéntrico viene determinada mediante la transformación de los componentes simétricos.:

$$Z_{012} = \begin{bmatrix} 0.4372 + 1.0127j & 0 & 0 \\ 0 & 0.0361 + 0.1769j & 0 \\ 0 & 0 & 0.0361 + 0.1769j \end{bmatrix} \frac{\Omega}{km}$$

Conclusiones

Se ha establecido un procedimiento claro y reproducible para determinar las **impedancias de secuencia** en las líneas subterráneas con **circuitos en paralelo**, integrando: [i] **ecuaciones de Carson** [e la loro versión modificada para los parámetros operativos estabilizados], [ii] **reducción de Kron** para obtener la matriz de fase e [iii] **transformación en componentes simétricas** para derivar. Este flujo garantiza **trazabilidad** e **facilidad de implementación** en los instrumentos computacionales.

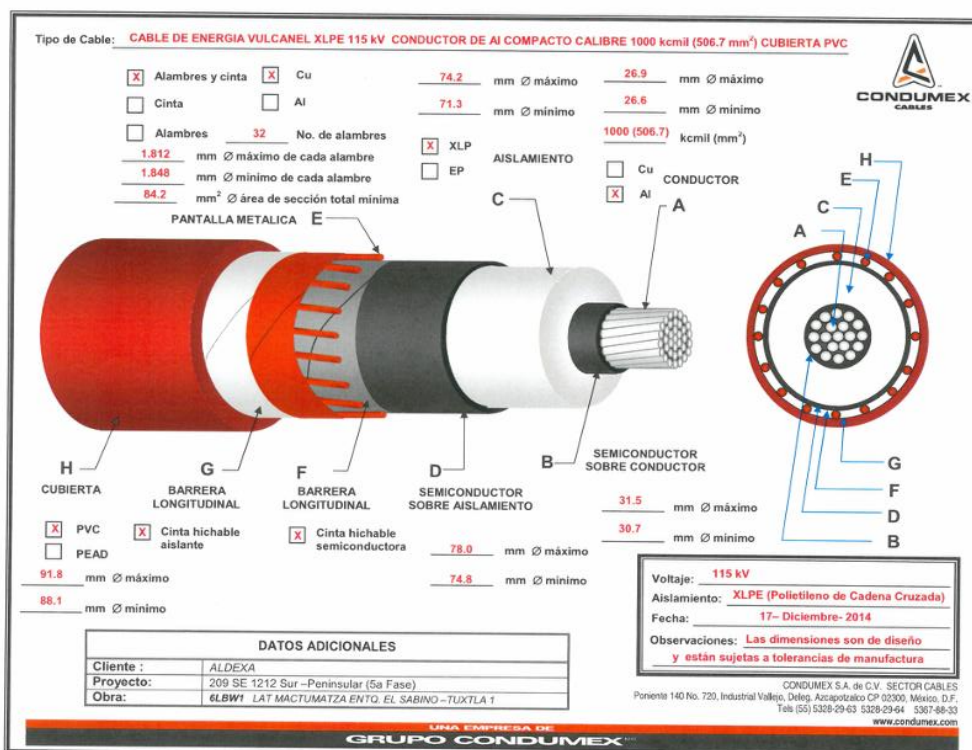
La **secuencia cero** es fuertemente condicionada por el **camino de retorno a tierra** y por las propiedades eléctricas/geométricas del **neutro concéntrico** [resistencia equivalente, GMR equivalente e disposición]. En términos cualitativos, resulta mayor de e , con un impacto directo sobre las **corrientes de guasto a tierra**, **sobre el coordinación de protecciones** e **sobre la seguridad** [tensiones de paso e de contacto].

Nell'ipotesi di una **línea completamente trasposta** e di una geometría uniformada, las impedancias de **secuencia positiva e negativa** son **iguales**, de acuerdo con la teoría de los **componentes simétricos**. Las impedancias dependen sensibilmente de: [i] **separaciones entre conductores** [], [ii] **GMR** de fase e **GMR equivalente** del neutro, e [iii] **resistencia equivalente** del neutro. Por tanto, la **proycción física** [disposición en conductos, galerías, trinchas o HDD] e la **elección de materiales** [pantallas, cubiertas, rellenos térmicos] son decisiones que inciden sobre **perdidas**, **acoplamientos** e **capacidades térmicas**.

La **resistividad del suelo** e lo **esquema de conexión de pantallas** [un'extremidad, ambas las extremidades o **cross-bonding**] modifican de modo significativo la respuesta en **secuencia cero**, las **corrientes inducidas** e las **perdidas en las pantallas**. Se aconseja de considerar la **heterogeneidad** e la **stratificación** del terreno cuando el ambiente lo sugiere. La secuencia **Carson** \rightarrow **matriz primitiva** \rightarrow **reducción de Kron** \rightarrow **secuencias** ofrece un **camino modular** que facilita la verificación, el reutilización e la extensión a diversos escenarios de instalación, sin depender de valores numéricos específicos en esta fase conclusiva.

Allegati

A]



Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari o relazioni personali che potrebbero aver influenzato questo libro.

Contributo degli autori

Aguilar-Marin, Jorge Luis: Concettualizzazione, metodologia, redazione [revisione e edizione].

Cisneros-Villalobos, Luis: Concettualizzazione, metodologia, ricerca, supervisione.

Sánchez-Jaime, Jorge: Concettualizzazione, analisi formale, redazione [revisione e editing].

Vera-Dimas, José Gerardo: Concettualizzazione, analisi formale, ricerca.

Disponibilità di dati e materiali

I contributi originali presentati in questo studio sono inclusi nel capitolo. Per ulteriori informazioni, contattare l'autore corrispondente.

Finanziamento

Questa ricerca non ha ricevuto finanziamenti esterni.

Abbreviazioni

D_{ij}	Distanza tra i conduttori.
d_{od}	Diametro esterno del cavo sui neutri concentrici.
d_s	Diametro di un filo neutro concentrico.
GMD	Distanze geometriche medie.
GMR_s	Raggio geometrico medio di un filo neutro.
HDD	Perforazione orizzontale diretta.
k	Numero di fili neutri concentrici.
RD_i	Raggio del conduttore.
RMG	Raggio medio geometrico.
r_s	Resistenza di un filo neutro solido.
\hat{Z}_{ii}	Impedenza reciproca.
\hat{Z}_{ij}	Impedenza tra i conduttori i e j .
Z_{00}	Impedenza di sequenza zero.
Z_{11}	Impedenza di sequenza positiva.
Z_{22}	Impedenza di sequenza negativa.

Riferimenti

Elementari.

Allkabel. [2013]. *High-voltage cables 3.6–30 kV*. Allkabel.

Moore, G. F. [2007]. *Electric cables handbook* [3rd ed.]. Blackwell Science.

Heinhold, L. [2010]. *Power cables and their application* [Part 1, 3rd ed.]. Siemens AG.

Antecedenti.

Dorf, R. C. [Ed.]. [2015]. *The electrical power engineering handbook* [2nd ed.]. CRC Press.

Supporto.

Henao, A. M., & Mesa, R. L. [2023]. *Dimensionamiento de cables de potencia aislados*. Universidad Pontificia Bolivariana.

Grigsby, L. L. [Ed.]. [2007]. *Electric power generation, transmission, and distribution* [2nd ed.]. CRC Press/Taylor & Francis Group.

Differenze.

Nexans France S.A.S. [n.d.]. *60–500 kV high voltage underground power cables: XLPE insulated cables* [Brochure]. Nexans.

CIGRE. [2001, October]. *Construction, laying and installation techniques for extruded and self-contained fluid-filled cable systems* [Technical Brochure No. 194]. CIGRE.

Electric Power Research Institute. [2006]. *Underground transmission systems reference book* [2006 ed.]. EPRI.

Adapa, R. [2003, December]. *Increased power flow guidebook—Underground cables* [Report No. 1001818]. Electric Power Research Institute.



Krames, S. R., Rodenbaugh, T. J., & Conroy, M. W. [1994, April 10–15]. *The use of trenchless technologies for transmission and distribution projects*. In *Proceedings of the 1994 IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference* [pp. 123-128]. IEEE.

Kersting, W. H. [2001]. *Distribution system modeling and analysis*. CRC Press.

Effetto del processo di cottura sui pezzi ceramici decorativi stampati con produzione additive



Efecto del proceso de cocción de piezas cerámicas decorativas impresas por manufactura aditiva

Hernández-Hernández, Celia Massiel ^a, Melo-Máximo, Lizbeth * ^b, Melo-Máximo, Dulce Viridiana ^c e Vega-Morón, Roberto Carlos ^d

^a ROR Instituto Tecnológico de Tlalnepantla •  0000-0002-2472-8683 •  1107422

^b ROR Instituto Tecnológico de Tlalnepantla •  0000-0002-7081-0661 •  299373

^c ROR Polytechnic University of the Valley of Mexico •  0000-0001-7488-7677 •  170068

^d ROR Instituto Tecnológico de Tlalnepantla •  0000-0003-4772-7904 •  513822

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.35.42>

Area: Ingegneria

Campo: Ingegneria

Disciplina: Ingegneria chimica

Sottodisciplina: Materiali ceramici

Punti chiave del manuale

Questo studio si concentra sul processo di cottura di pezzi di argilla per la loro conversione in ceramica mediante il metodo della forgia e del forno, effettuando un confronto tra le trasformazioni fisico-chimiche indotte da ciascuna tecnica. Si sottolinea che il processo di forgiatura consente l'essiccazione del pezzo con un minor consumo energetico, ma con lo svantaggio che le proprietà di finitura superficiale sono diverse rispetto al processo di cottura in forno. L'argilla in pasta ha mostrato un buon comportamento strutturale oltre che estetico, evidenziando variazioni di colore, minore porosità e quindi maggiore omogeneità nell'ottenimento di pezzi decorativi, oltre al fatto che il metodo di cottura in forno elettrico migliora notevolmente le caratteristiche del materiale dopo il processo di vetrificazione.

Area: Promozione della ricerca all'avanguardia e della scienza di base in tutti i campi del sapere

Citazione: Hernández-Hernández, Celia Massiel, Melo-Máximo, Lizbeth, Melo-Máximo, Dulce Viridiana e Vega-Morón, Roberto Carlos. 2025. Effetto del processo di cottura sui pezzi ceramici decorativi stampati con produzione additive. 35-42. PIREQA.

* ✉ [\[lizbeth.mm@tlalnepantla.tecnm.mx\]](mailto:lizbeth.mm@tlalnepantla.tecnm.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

Questa ricerca ha confrontato il comportamento di quattro tipi di argilla utilizzati nella produzione additiva per creare oggetti decorativi. Gli oggetti sono stati sottoposti a due metodi di cottura: forno elettrico e fucina. La modellazione e la progettazione sono state eseguite utilizzando il software open source SketchUp e Ultimaker Cura. Gli oggetti sono stati caratterizzati mediante esame stereoscopico con ingrandimento 40x, sia della superficie che della sezione trasversale; sono state analizzate le variazioni di colore quando gli oggetti sono stati esposti a diverse condizioni di illuminazione. I risultati mostrano che le argille in polvere hanno un limite di utilizzo nella produzione additiva a causa delle fratture che hanno mostrato durante il processo di cottura. Tuttavia, il corpo in argilla ha mantenuto una buona uniformità e una porosità inferiore quando cotto in forno. È evidente che il tipo di argilla e il metodo di cottura influenzano in modo significativo la qualità meccanica ed estetica dei pezzi.



Stampa, Colorimetria, Argilla

Resumen

La presente investigación comparó el comportamiento de cuatro tipos de arcilla utilizando manufactura aditiva para generar piezas decorativas. Se sometieron a dos métodos de cocción: horno eléctrico y fragua. El modelado y diseño de las piezas se realizó en el software libre SketchUp y Ultimaker Cura. Las piezas se caracterizaron por estereoscopia a 40x tanto de la superficie como de la sección transversal; se analizaron los cambios de color al exponer las piezas a diferentes ambientes luminosos. Los resultados exhiben que las arcillas en polvo mantienen una limitante para su uso en la manufactura aditiva por las fracturas que presentaron desde el proceso de cocción, sin embargo, la pasta mantuvo una buena uniformidad, menor porosidad al utilizar la cocción por horno. Se evidencia que el tipo de arcilla y el método de quema influyen significativamente en la calidad mecánica y estética de las piezas.

Efecto del proceso de cocción de piezas cerámicas decorativas impresas por manufactura aditiva



Impresión, Colorimetría, Arcilla

Introduzione

La produzione additiva, o stampa 3D, ha conosciuto un grande boom negli ultimi anni poiché, rispetto ai processi sottrattivi [ad esempio la fresatura], presenta vantaggi quali la riduzione dei residui di produzione e la realizzazione di geometrie complesse con dettagli specifici che non è possibile ottenere con i processi convenzionali [Wolf, Rosendahl, & Knaack, 2022].

La produzione additiva ha aperto un panorama di gradi di libertà nella fabbricazione di prodotti che non sarebbero raggiungibili con un controllo solo XYZ, inoltre è possibile migliorare la qualità di stampa dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche e soprattutto estetiche. [Wolf et al., 2022]

La prima fase del processo consiste nel realizzare un progetto assistito da computer che sarà utilizzato come modello strutturale per la fabbricazione del pezzo finale, successivamente viene eseguito un processo di laminazione che fornirà le caratteristiche necessarie per generare un modello 3D nel linguaggio della stampante e in questo modo creare il pezzo strato dopo strato. [Horst, Duvoisin, & Vieira, 2018]

A seconda del materiale con cui si lavora, si deriverà il processo di produzione additiva, tuttavia esistono due modelli che presentano somiglianze: la struttura diretta a vasca, in cui si utilizza il processo di estrusione continua di un materiale [inchiostro] con buone caratteristiche reologiche; il secondo è la modellazione per deposizione fusa in cui, mediante estrusione, un filamento termoplastico semisciolto viene posizionato strato per strato e lasciato solidificare sulla piattaforma di stampa. [L. Chen et al., 2022]

Il processo di estrusione è comune alle due tecniche descritte nel paragrafo precedente, in cui è indispensabile mantenere la continuità dell'alimentazione del materiale per mantenere la consistenza degli strati stampati. Esiste una modellazione che utilizza queste stesse caratteristiche, il modello per deposizione in pasta. [Ruscitti, Tapia, & Rendtorff, 2020]

Il modello di deposizione in pasta utilizza come materia prima l'argilla/il fango, che può essere utilizzato sia in applicazioni ingegneristiche che artistiche; tutto inizia con la miscelazione di polveri composte principalmente da silicati di alluminio con acqua e, in alcuni casi, additivi o leganti, con cui viene scolpita una forma tridimensionale. [Z. Chen et al., 2019]

Una volta ottenuto il pezzo richiesto con le caratteristiche specifiche, è necessario lasciarlo asciugare a temperatura ambiente affinché si solidifichi con l'evaporazione del contenuto di acqua o solventi del materiale; dopo questo processo, il pezzo viene denominato "pezzo verde". Una volta ottenuto il pezzo "verde", è necessario sottoporlo a un processo di sinterizzazione ad alte temperature per ottenere la densificazione del materiale e conferirgli le caratteristiche di un ceramico. [Z. Chen et al., 2019]

La cottura è un processo in cui i materiali argillosi sono sottoposti a cambiamenti fisico-chimici subendo una serie di trasformazioni; il cambiamento inizia con la disidratazione, successivamente, aumentando la temperatura, il materiale genera una fase vetrosa a causa della mobilità atomica che riduce la porosità, aumenta la resistenza meccanica e la densità. È importante controllare la velocità di cottura per evitare che una contrazione rapida produca tensioni che favoriscono la formazione di crepe e difetti nel pezzo. [Gómez, Blanco, & Mora, 2018]

I fattori determinanti della trasformazione dei materiali argillosi dipendono dalla loro composizione mineralogica, tuttavia gli studi sperimentali indicano che il punto di fusione di questi materiali si trova tra i 1000 °C e i 1500 °C; prima di questo punto critico, le fasi strutturali cambiano a causa del fenomeno della deidrossilazione [perdita di gruppi idrossilici generalmente sotto forma di acqua]. [González, García, & Martínez, 1983]

Il processo di cottura è lo stesso indipendentemente dalla tecnica utilizzata, sia che si tratti di un forno a gas, elettrico o rudimentale a legna. È importante considerare che i pezzi non possono essere sottoposti a temperature elevate in modo brusco, esistono fasi fondamentali che devono essere controllate per ridurre al minimo i difetti nel pezzo: preriscaldamento, cottura e raffreddamento. [Gómez et al., 2018]

La curva di riscaldamento inizia a temperature comprese tra 150 °C e 200 °C, quando il materiale rilascia completamente l'acqua contenuta e inizia la decomposizione del silicato di allumina; quando il materiale raggiunge i 500 °C, la materia organica proveniente dalla decomposizione dell'argilla pura brucia; tra i 700 °C e gli 800 °C circa si forma una miscela di ossido di ferro, magnesio, calcio, allumina e vari silicati che daranno luogo alla formazione della fase vetrosa da 800 °C a 1200 °C a seconda del tipo di argilla.

La cottura è completata quando gli ossidi, i silicati e l'allumina si uniscono formando strutture cristalline che vetrificano il materiale, che manterrà la sua forma indefinitamente. Successivamente, come all'inizio del processo di cottura, è fondamentale aumentare la temperatura in modo controllato; il processo di raffreddamento deve essere effettuato allo stesso modo per evitare sollecitazioni del materiale che potrebbero portarne al cedimento. [Arquíñigo Trujillo, 2011]

A seconda della temperatura raggiunta nel processo di cottura, i pezzi di argilla presentano diverse tonalità a causa della contrazione dovuta al riscaldamento e al cambiamento di densità. Se il pezzo continua a riscaldarsi dopo aver raggiunto la sua massima densità, la fase vetrosa favorisce nuovamente l'espansione e il surriscaldamento, figura 1. [Dave, 2022]

Scatola 1

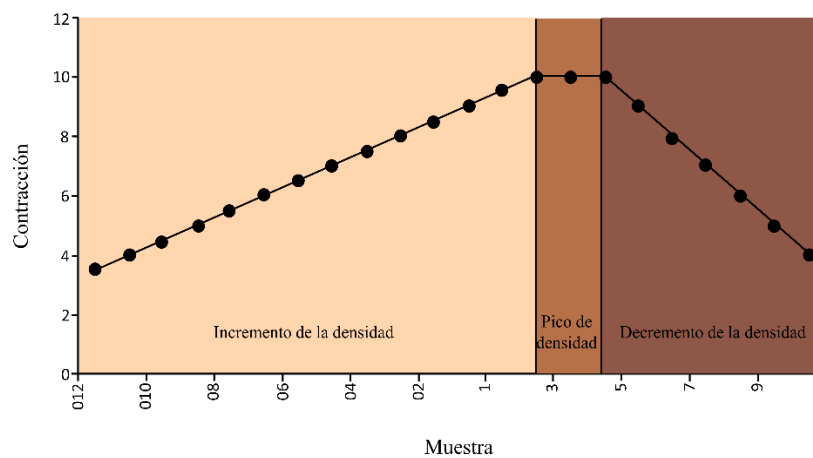


Figura 1

Curva di contrazione per un corpo di argilla [Dave, 2022]

Il presente lavoro si concentra proprio su quest'ultima caratteristica, mettendo a confronto due processi di cottura. Vengono stampati elementi decorativi di circa 4,5 cm di altezza mediante produzione additiva utilizzando 4 tipi di argilla. Gli elementi vengono cotti con un metodo rudimentale simile alla fucina, utilizzando legna da ardere, dopodiché vengono cotti in un forno elettrico. Entrambi i processi sono stati caratterizzati mediante stereoscopio per identificare i difetti sia del processo di estrusione che di cottura, inoltre, utilizzando Smart Tools con l'applicazione Color Picker, sono stati identificati i modelli di colore in due ambienti diversi: luce naturale e luce artificiale.

Metodologia

Per poter visualizzare le differenze tra i processi di cottura, si è optato per la creazione di pezzi decorativi, prendendo ispirazione da una figura umana [donna], semplice e senza dettagli marcati.

-Progettazione del pezzo

Il progetto è stato realizzato con il software di modellazione online SketchUp, successivamente laminato con il software open source CURA.

- Preparazione della materia prima

Sono stati selezionati quattro tipi di argilla: tre in polvere [verde, rossa e nera] e l'ultima in pasta. Le argille in polvere sono state preparate in un rapporto di 80% di solido e 20% di liquido fino a ottenere una consistenza plastica.

- *Stampa del pezzo*

L'argilla viene caricata nel contenitore della stampante per iniziare la generazione del pezzo. È importante sottolineare che, per evitare che la figura perda improvvisamente la sua umidità, come base di stampa viene utilizzata una piastra di acciaio. La velocità di stampa è impostata a 20 mm/s e l'altezza tra gli strati a 1 mm. La stessa procedura viene eseguita per i quattro tipi di argilla, che vengono poi lasciati asciugare all'ombra fino al cambiamento di colore [da opaco a chiaro].

- *Cottura dei pezzi mediante forgia*

Per la cottura con il metodo tradizionale è stato utilizzato un "anafre", mattoni refrattari e un pezzo di argilla per costruire una sorta di forno e dirigere la fiamma generata direttamente sui pezzi. Prima di inserire le figure nel forno, vengono lasciate temperare naturalmente al calore del sole per circa 1 ora. Quando inizia a generare calore, i pezzi vengono posizionati in modo che la fiamma li colpisca direttamente; con i mattoni si forma una camera che avrà un'uscita nella parte superiore [pezzo di argilla] come mostrato nella figura 2. Il processo ha avuto una durata di 12 ore per la cottura e 12 ore extra per il raffreddamento.

Scatola 2

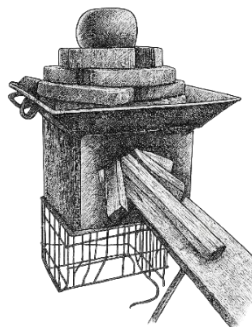


Figura 2

Schema del processo di forgiatura [immagine elaborata con IA]]

- *Cottura dei pezzi in forno elettrico*

È stato utilizzato un forno elettrico a basso costo che ha raggiunto una temperatura di 750 °C. Come nel processo di forgiatura, i pezzi vengono temperati, in questo caso riscaldati a una temperatura compresa tra 40 °C e 50 °C prima di essere inseriti nel forno. Il processo complessivo è durato circa 6 ore di riscaldamento, seguito da un raffreddamento di circa 8 ore.

Scatola 3

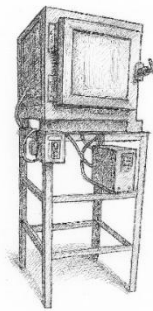


Figura 3

Schema del processo del forno elettrico [immagine elaborata con IA]]

- *Caratterizzazione*

I pezzi cotti sono stati valutati mediante stereoscopia a 40x, inoltre è stata identificata la tavolozza dei colori sotto luce naturale e artificiale [bianca] tramite un software.

Risultati

Sono stati generati pezzi in duplicato che hanno mostrato una buona omogeneità durante la stampa, tuttavia, nel processo di evaporazione dell'acqua, le argille rossa, verde e nera hanno mostrato fratture di grande entità, per cui per la cottura in forno elettrico è stata utilizzata solo la stampa di argilla in pasta.

Il design del pezzo ha presentato un piccolo difetto nella laminazione poiché, come si può osservare nella figura 4a, il modello originale presenta piccole mani che nella laminazione sono andate perse a causa dello spessore dello strato [figura 4b].

Scatola 4

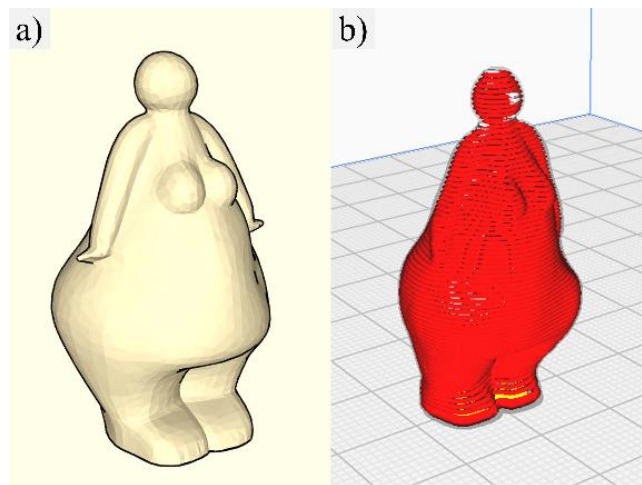


Figure 4

Modellazione del pezzo. a) Progettazione del pezzo con il software SketchUp; b) Laminazione del pezzo con Ultimaker Cura

I pezzi stampati sono stati sottoposti a due ambienti luminosi, le palette di colori hanno mostrato una variazione tra loro poiché in un ambiente artificiale i colori diventano più scuri, come possiamo osservare nella figura 5.

Scatola 5



Figura 5

Cambiamento di colore dei pezzi stampati in un ambiente naturale [parte superiore] e artificiale [parte inferiore].

La caratterizzazione mediante stereoscopia mostra il deposito strato per strato dell'argilla; nella sezione trasversale è possibile osservare strutture laminari e cavità generate dal processo di vetrificazione.

Il cambiamento più evidente si osserva nelle immagini del pezzo stampato in pasta, poiché i due metodi di cottura hanno generato una colorazione diversa, oltre a ridurre la porosità durante la cottura in un forno elettrico, figura 6.

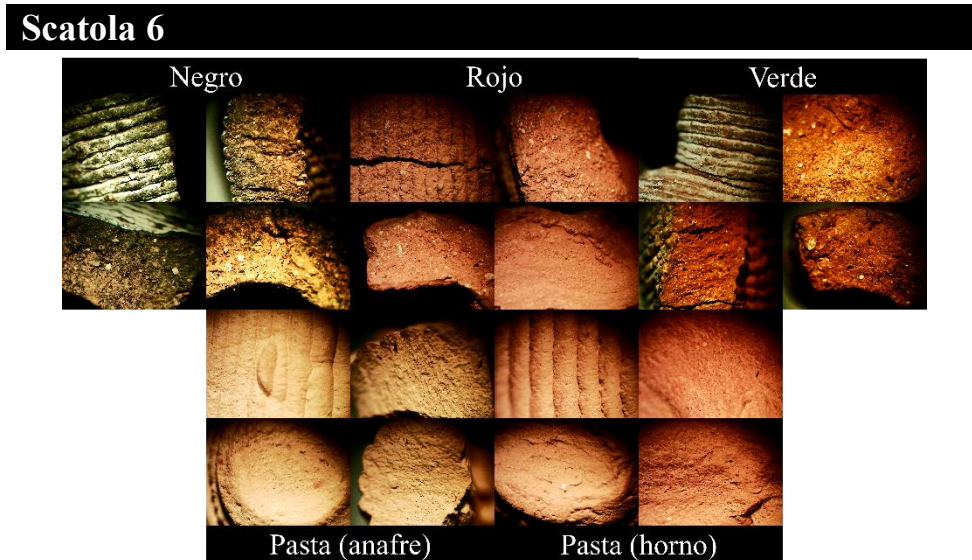


Figura 6

Stereoscopia 40x della sezione trasversale e superficiale dei pezzi

Conclusioni

La produzione additiva di argille presenta sfide tecniche che vanno dalla modellazione 3D dei pezzi alla loro laminazione, oltre al fatto che le argille in polvere tendono a fratturarsi durante il processo di essiccazione e cottura. L'argilla in pasta ha mostrato un buon comportamento strutturale oltre che estetico, evidenziando variazioni di colore, minore porosità e quindi maggiore omogeneità nell'ottenimento di pezzi decorativi, oltre al fatto che il metodo di cottura in forno elettrico migliora notevolmente le caratteristiche del materiale dopo il processo di vetrificazione.

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari o relazioni personali che potrebbero aver influenzato questo libro.

Contributo degli autori

Hernández-Hernández, Celia Massiel: sperimentazione, caratterizzazione, analisi dei risultati, scrittura.

Melo-Máximo, Lizbeth: Consulenza sul progetto, concettualizzazione, analisi dei risultati, scrittura.

Melo-Máximo, Dulce Viridiana: Consulenza, concettualizzazione, caratterizzazione, analisi dei risultati.

Vega-Morón, Roberto Carlos: Consulenza sul progetto, concettualizzazione, analisi dei risultati, scrittura.

Disponibilità di dati e materiali

Pubblici.

Finanziamento

Questa ricerca è stata condotta nell'ambito del bando 2025: Progetti di ricerca scientifica, sviluppo tecnologico e innovazione, intitolato "Produzione di substrati ceramici mediante manifattura additiva, modificati superficialmente per ottenere proprietà fotocatalitiche"; M00-PR-03-R02 Progetto [22624].

Ringraziamenti

Ringraziamo SECIHTI per la borsa di studio concessa per svolgere gli studi di dottorato, il Tecnológico Nacional de México e l'Instituto Tecnológico de Tlalnepantla per l'opportunità di svolgere gli studi post-laurea e per il permesso di utilizzare le strutture del Laboratorio di Sintesi e Caratterizzazione.

Riferimenti

Antecedenti.

Chen, L., Zhou, S., Li, M., Mo, F., Yu, S., & Wei, J. [2022]. [Catalytic Materials by 3D Printing: A Mini Review](#). *Catalysts*, 12, 1081. doi:10.3390/catal12101081

Horst, D., Duvoisin, C., & Vieira, R. [2018]. [Additive Manufacturing at Industry 4.0: a Review](#). *International Journal of Engineering and Technical Research*, 8, 3-8.

Wolf, A., Rosendahl, P. L., & Knaack, U. [2022]. [Additive manufacturing of clay and ceramic building components](#). *Automation in Construction*, 133, 103956.

Elementi fondamentali

Chen, Z., Li, Z., Li, J., Liu, C., Lao, C., Fu, Y., . . . He, Y. [2019]. [3D printing of ceramics: A review](#). *Journal of the European Ceramic Society*, 39[4], 661-687.

Ruscitti, A., Tapia, C., & Rendtorff, N. [2020]. [A review on additive manufacturing of ceramic materials based on extrusion processes of clay pastes](#). *Cerâmica*, 66[380], 354-366.

Supporto

Arquíñigo Trujillo, W. N. [2011]. [Propuesta para mejorar la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla cocida de Huánuco](#).

Dave, F. [2022]. [A Simple Test Determines the Best Firing Temperature for a Clay Body, How to Determine How High to Fire Your Pottery Clay and Learn Your Ceramic Firing Temperature](#).




Gómez, G. G., Blanco, E. E., & Mora, N. E. [2018]. [Curva de cocción de la arcilla en la ladrillera el recreo](#). *Revista colombiana de tecnologías de avanzada [RCTA]*, 1[31], 35-41.

González, J. L., García, F. H., & Martínez, J. C. [1983]. [La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento](#). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 8, 479-490.




Identificazione di germoplasma di mais [*Zea mays L.*] tollerante alle principali malattie nell'area tropicale nel sud-est del Messico

Identificación de germoplasma de maíz [*Zea mays L.*] tolerante a las principales enfermedades en el área tropical del sureste de México

Sierra-Macías, Mauro * ^a, Becerra-Leor Enrique Noé ^b, Gómez-Montiel, Noel Orlando ^c e Espinosa-Calderón Alejandro ^d

^a  Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias  MGB-4829-2025  0000-0001-6476-2192 5116

^b  Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias  0009-0000-0471-1596

^c  Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias  MGB-4854-2025  0009-0006-1184-3806

^d  Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias  0000-0002-7128-4712

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.43.56>

Area: Biotecnologie e scienze agrarie

Campo: Scienze agrarie

Disciplina: Agronomia

Sottodisciplina: Miglioramento genetico e protezione delle piante

Punti chiave del manuale

Lo scopo del presente studio era identificare germoplasmi di mais tropicale con resa elevata e tolleranza alle principali malattie che colpiscono questa coltura. Sono stati valutati gli ibridi H-520, H-518, H-513, H-562 e H-563 in diverse condizioni ambientali, tenendo conto della loro interazione genotipo-ambiente. I risultati hanno indicato che questi ibridi presentano una buona resa, adattabilità e tolleranza alla malattia “macchia d'asfalto” causata da *Phyllachora maydis* e alla ruggine fogliare provocata da *Helminthosporium turcicum*. Inoltre, H-520, H-518 e H-513 hanno mostrato resistenza al “rachitismo” e al marciume delle pannocchie. Il sito sperimentale di San Andrés Tuxtla ha registrato la percentuale media più alta di marciume delle pannocchie [29,88%], costituendosi in un ambiente utile per la selezione di genotipi tolleranti. Questo contributo fa parte delle ricerche del Programma Mais dell'INIFAP, istituzione pubblica nazionale dedicata al miglioramento genetico e sostenibile del mais.

Area: Sviluppo di tecnologie strategiche all'avanguardia e innovazione aperta per la trasformazione sociale.

Citazione: Sierra-Macías, Mauro, Becerra-Leor Enrique Noé, Gómez-Montiel, Noel Orlando e Espinosa- Calderón Alejandro. 2025. Identificazione di germoplasma di mais [*Zea mays L.*] tollerante alle principali malattie nell'area tropicale nel sud-est del Messico. 43-56. PIREQA.

* ✉ [\[sierra.mauro@inifap.gob.mx\]](mailto:sierra.mauro@inifap.gob.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

Con l'obiettivo di sviluppare una diagnosi delle malattie più importanti del mais nell'area tropicale e subtropicale del Messico sud-orientale e di identificare il germoplasma tollerante, è stata condotta una revisione del lavoro sulle malattie del mais; l'identificazione del germoplasma tollerante ha tenuto conto dell'ambiente naturale con la presenza dell'agente causale; Ad "Achaparramiento", gli ibridi H-520, H-513, H-518 e C-343 erano tolleranti e le località con la più alta incidenza erano: Ignacio de la Llave e La Torrecilla, Tlalixcoyan, Veracruz, ambienti adatti alla selezione di genotipi tolleranti. Per quanto riguarda la carie della pannocchia, gli ibridi H-520, H-518, H-513 hanno registrato le percentuali di danno più basse. San Andrés Tuxtla ha registrato la percentuale più alta [29,88%], un ambiente che consente la selezione di genotipi tolleranti. Nella "Mancha de asfalto", durante la stagione autunnale-invernale negli stati di Veracruz e Guerrero, gli ibridi H-513, H-520, H-518, H-562 e H-563 hanno mostrato buone prestazioni e tolleranza a questa malattia.

Identificazione di germoplasma di mais (*Zea mays* L.) tollerante alle principali malattie nell'area tropicale del sud-est del Messico

Obiettivi	Metodologia	Contributo
<p>a) Elaborare una diagnosi delle malattie più importanti del mais nelle aree tropicali e subtropicali del sud-est e</p> <p>b) Identificare il germoplasma tropicale del mais con buona resa, adattabilità e tolleranza alle principali malattie.</p>	<p>È stata condotta una revisione degli studi sulle malattie del mais nella regione tropicale del Messico. Sono stati identificati germoplasma tollerante della razza Tuxpeño, varietà, sintetici, ibridi e genitori, tenendo conto dell'ambiente naturale con la presenza dell'agente causale. A "Achaparramiento", la valutazione è stata effettuata a Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, a Veracruz. Per quanto riguarda la carie della pannocchia causata da <i>Diplodia maydis</i> e <i>Fusarium moniliforme</i>, il sito principale di valutazione è stato San Andrés Tuxtla, Ver. A "Mancha de Asfalto", la valutazione è stata effettuata nella stagione autunnale-invernale a Veracruz e Guerrero, dove era presente questa malattia.</p>	<p>Gli ibridi di mais H-520, H-518, H-513, H-562, H-563 presentano buone prestazioni, adattabilità e tolleranza alla malattia "Mancha de asfalto" causata da <i>Phyllachora maydis</i>, <i>Helminthosporium turcicum</i>, importante nelle coltivazioni autunnali e invernali; inoltre, H-520, H-518, H-513 sono tolleranti al nanismo del mais e al marciume delle pannocchie.</p>

Mais, Malattie, Tropic

Resumen

Con los objetivos de elaborar un diagnóstico sobre las enfermedades del maíz más importantes en el área tropical y subtropical en el sureste de México e Identificar germoplasma tolerante, se realizó una revisión sobre trabajos de enfermedades en maíz; La identificación de germoplasma tolerante consideró el ambiente natural con la presencia del Agente causal; En "Achaparramiento", los híbridos H-520, H-513, H-518 y C-343 fueron tolerantes y las localidades con mayor incidencia fueron: Ignacio de la Llave y La Torrecilla, Tlalixcoyan, Ver., ambientes aptos para seleccionar genotipos tolerantes. En pudrición de mazorca los híbridos H-520, H-518, H-513, registraron los más bajos porcentajes de daño. San Andrés Tuxtla tuvo el porcentaje más alto [29.88%], ambiente que permite seleccionar genotipos tolerantes. En "Mancha de asfalto", durante el ciclo otoño invierno en los estados de Veracruz y Guerrero, Los híbridos H-513, H-520, H-518, H-562 y H-563 presentaron buen rendimiento y tolerancia a esta enfermedad.

Identificación de germoplasma del maíz (*Zea mays* L.) tolerante a las principales enfermedades en área tropical del sureste de México

Objetivos	Metodología	Contribución
<p>a) Elaborar un diagnóstico sobre las enfermedades del maíz más importantes en el área tropical y subtropical en el sureste de México</p> <p>b) Identificar germoplasma de maíz tropical, con buen rendimiento, adaptación y tolerante a las principales enfermedades</p>	<p>Se realizó una revisión sobre trabajos de enfermedades de maíz en el trópico de México; La identificación de germoplasma tolerante de la raza tuxpeño, variedades, sintéticos, híbridos y progenitores, se consideró el ambiente natural con la presencia del Agente causal; En "Achaparramiento" la evaluación fue en Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, en Veracruz. En pudrición de mazorca causada por <i>Diplodia maydis</i> y <i>Fusarium moniliforme</i>, fue San Andrés Tuxtla el sitio principal de evaluación; En "Mancha de asfalto", se realizó en otoño invierno en Veracruz y Guerrero, donde esta enfermedad estuvo presente.</p>	<p>Los híbridos de maíz H-520, H-518, H-513, H-562, H-563 presentan buen rendimiento, adaptación y tolerancia a la enfermedad "Mancha de asfalto" causada por <i>Phyllachora maydis</i> y del tizon foliar causado por el hongo <i>Helminthosporium turcicum</i> importantes en siembras del ciclo otoño invierno adicionalmente, H-520, H-518, H-513 tolerantes al "achaparramiento" y pudriciones de mazorca</p>

Maíz, Enfermedades, Trópico

Introduzione

In Messico, il mais è la coltura più importante perché fa parte della dieta umana, occupa una vasta superficie coltivata e genera il 36% del valore della produzione agricola. Nel corso del 2022, in Messico sono stati seminati 7,47 milioni di ettari a mais, con una resa di 3,90 t ha⁻¹ e una produzione totale di 26,55 milioni di tonnellate, con un consumo apparente *pro capite* di 338,10 kg; della produzione totale, 19,35 milioni di tonnellate sono state utilizzate per il consumo diretto, di cui il 67% attraverso l'industria della masa e delle tortillas nel processo di nixtamalizzazione e il 33% attraverso l'industria della farina. Inoltre, nel corso del 2022, sono stati importati 17,40 milioni di tonnellate di grano giallo per l'industria e l'alimentazione animale [SIAP, 2022].

Nella regione tropicale del Messico, nel corso del 2022 sono stati seminati 2,8 milioni di ettari a mais, di cui un milione si trova in province agronomiche con produttività buona e ottima, e 91 mila ettari sono seminati in condizioni di irrigazione; In questa zona è possibile l'uso di sementi migliorate di ibridi, sintetici e varietà con un elevato potenziale di resa in condizioni favorevoli di clima, suolo e gestione da parte degli agricoltori [SIAP, 2022; Espinosa *et al.*, 2019; Sierra *et al.*, 2019].

Le malattie più importanti che colpiscono le colture di mais nella zona tropicale del Messico sud-orientale sono l'“Achaparramiento” [accartocciamento], la malattia dello stunt causata da un *Mycoplasma* e da uno *Spiroplasma* il cui vettore è la Chicharrita *Daldulus maydis* e il complesso “Mancha de asfalto”, associato ai funghi *Phyllachora maydis* [Maubl] e *Monographella maydis* Müller & Samuels, la ruggine fogliare causata dal fungo *Helminthosporium turcicum* e la carie delle spighe causata da *Diplodia maydis* e *Fusarium moniliforme*

La malattia dello stunt è causata da un *micoplasma* e da uno *spiroplasma*, il cui vettore è la chicharita *Daldulus maydis*. Questa malattia è comune nelle semine tardive e dove il mais viene piantato in date scaglionate per la produzione di mais: La malattia “Achaparramiento” è una delle più importanti che ha causato perdite in diversi paesi dell'America, tra cui: Stati Uniti, Messico, America Centrale e Caraibi, Perù e Argentina [Nault 1980, Bradfute *et al.*, 1981, Henríquez e Jeffers, 1997; Gordon *et al.*, 1997; Giménez *et al.*, 2002] ed è stata un fattore limitante nelle zone tropicali e subtropicali

Il complesso “Mancha de asfalto” [ABC], associato ai funghi *Phyllachora maydis* Maubl. e *Monographella maydis* Müller & Samuels, è una malattia che dall'inizio degli anni '90 è diventata il principale fattore limitante nella produzione di mais in alcune zone dei tropici umidi e subumidi e nelle zone di transizione in varie regioni del Messico e dell'America centrale [Hock *et al.*, 1989]. L'incidenza dell'ABC causa gravi perdite di resa, deteriora la qualità del foraggio e ha il potenziale di distruggere alcuni appezzamenti [Pereyda *et al.*, 2009]. In Messico, la malattia è considerata potenzialmente importante in circa 800.000 ettari distribuiti negli stati di Jalisco, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas e Guerrero [Gómez *et al.*, 2013].

La ruggine fogliare causata dal fungo *Helminthosporium turcicum* è presente in condizioni tropicali e subtropicali e richiede basse temperature e alta umidità relativa, come i requisiti del complesso della macchia d'asfalto. Queste condizioni sono particolarmente frequenti nel Messico sud-orientale nelle prime semine del ciclo autunno-inverno in condizioni di tonalmil, che si ottiene con l'umidità residua della tempesta e le piogge occasionali causate dai venti “del nord”.

La muffa della spiga è la malattia più comune in tutto il mondo nei climi caldi, umidi e secchi [De León 1984].

Le malattie che attaccano il chicco e la spiga possono ridurre significativamente la resa, la qualità e il valore nutrizionale. In Messico, è segnalata nei principali stati produttori di questo cereale. Nei tropici umidi del Messico, questo problema è comune nelle zone con elevata umidità relativa e nuvolosità [Betanzos, 2001]. Le condizioni che favoriscono l'infezione fungina patogena nella spiga sono un ambiente secco all'inizio della stagione, seguito da umidità prima e dopo la fioritura. Gli agenti causali che attaccano principalmente il chicco e la spiga appartengono ai generi: *Giberella* nei climi temperati, *Fusarium* nei climi temperati, subtropicali e tropicali di alta montagna; *Diplodia* nei climi subtropicali e *Botrydiplodia* durante l'estate nei climi tropicali.

D'altra parte, menziona che la putrefazione si verifica durante i periodi molto umidi durante la formazione del chicco e suggerisce che i funghi più frequenti sono: *Fusarium moniliforme*, *Diplodia maydis*, *Nigrospora orizae*, *Cladosporium herbarum* e diverse specie di *Penicillium*, *Aspergillus* e *Rhizopus*

Nel miglioramento genetico del mais per i tropici, è stato identificato germoplasma derivato dalla razza Tuxpeño, con tolleranza alle principali malattie [Reyes, 1985]; Pertanto, nel nord dello stato di Veracruz durante il ciclo autunno-inverno, sotto la pressione naturale della “Mancha de asfalto” causata dal fungo *Phyllachora maydis* e della ruggine fogliare causata dal fungo *Helminthosporium turcicum*, è stato identificato l'ibrido H-513, la cui genealogia corrisponde al semplice incrocio LT154xLT155, definito tollerante alla “Mancha de asfalto” e alla ruggine fogliare; in particolare, questo semplice incrocio è il genitore femminile degli ibridi H-520, H-518 rilasciati a Cotaxtla, Ver e H-562 rilasciati a Iguala Guerrero per la regione della costa del Pacifico; Inoltre, H-565, H-563 sono tolleranti alla “Mancha de asfalto” e la cui genealogia è [CML-311-5-1-3-1 x CML-269-1-2-1-3-1]xLT154 [Sierra et al., 2008; Sierra et al., 2016; Gómez et al., 2008; Gómez et al., 2013].

Per quanto riguarda la tolleranza al nanismo del mais, gli ibridi H-513, H-520, H-518, [CML264xCML150]CML491, H-564C hanno presentato una minore incidenza e una minore gravità dei danni causati dal nanismo del mais alla pianta e alla pannocchia [Sierra et al., 2010; Sierra et al., 2007]; Infine, gli ibridi H-513, H-520, H-518, H-371C, CML146xCML142, CML176xCML144, CLQ6203xCML150, CLQ6601xCML172, hanno mostrato una buona copertura delle pannocchie, un buon aspetto e una buona salute delle piante e delle pannocchie, e un minor danno da marciume delle pannocchie [Sierra et al., 2004]. Gli obiettivi di questo lavoro erano: a) diagnosticare le malattie più importanti delle colture di mais nell'area tropicale e subtropicale nel sud-est del Messico, b) compilare studi sulla tolleranza alle principali malattie del mais e c) identificare il germoplasma con tolleranza alle principali malattie del mais

Materiali e metodi

Localizzazione e area di influenza. La ricerca sulla tolleranza all'arresto della crescita e alla putrefazione delle pannocchie è stata condotta presso la stazione sperimentale di Cotaxtla, che appartiene all'Istituto Nazionale di Ricerca Forestale, Agricola e Zootecnica [INIFAP] e nelle località di Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, San Andrés Tuxtla, Papantla, Isla a Veracruz e Huimanguillo, Tabasco, che si trovano nell'area di influenza dei tropici umidi del Messico e appartengono al gruppo climatico A [Aw, Am e Af], secondo García [2004]. La stazione sperimentale si trova a 18° 50' di latitudine nord e 96° 10' di longitudine ovest, a 15 metri sul livello del mare, con una temperatura media annuale di 25 °C e una piovosità annuale di 1.400 mm distribuita da giugno a ottobre. Il suolo è di origine alluvionale, profondo, con tessitura media in tutto il profilo, buon drenaggio, pH leggermente acido [6,6] e pendenza inferiore all'1%.

Germoplasma Il germoplasma utilizzato nella ricerca appartiene alla razza Tuxpeño, integrata con varietà a impollinazione libera, sintetiche, ibride e linee parentali di ibridi, rilasciate per i tropici umidi del Messico.

Variabili e registrazione dei dati. Durante lo sviluppo della coltura sono state registrate le seguenti variabili agronomiche: resa in granella e caratteristiche agronomiche. Inoltre, per identificare il germoplasma tollerante, sono state registrate le seguenti variabili: percentuale di piante con danni da arresto della crescita, gravità dei danni da arresto della crescita su una scala da 1 a 9, dove 1 rappresenta il danno minore e 9 il danno maggiore, tenendo conto della colorazione giallo-rossastra delle foglie, della riduzione dell'altezza della pianta e della proliferazione delle spighe, della percentuale di spighe con danni da arresto della crescita [spighe piccole e con meno chicchi], altezza della pianta e della pannocchia, giorni alla fioritura maschile e femminile, aspetto e salute della pianta e della pannocchia su una scala da 1 a 5, dove 1 è il migliore e 5 è il peggiore.

Nell'identificazione dei genotipi per la tolleranza al marciume della pannocchia, sono state registrate anche le seguenti variabili: aspetto e salute della pianta e della pannocchia, percentuale di piante allettate, percentuale di pannocchie con scarsa copertura, percentuale di pannocchie marce e resa in granella

Procedura. Per identificare il germoplasma tollerante alle principali malattie del mais nei tropici, è stato preso in considerazione l'ambiente naturale con la presenza dell'agente causale. Pertanto, per il rachitismo, la valutazione è stata effettuata a Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, nella regione centrale di Veracruz, una zona di coltivazione del mais, dove esistono date di semina scaglionate a livello commerciale e dove l'incidenza del rachitismo e il vettore erano naturalmente presenti; Per la putrefazione delle pannocchie causata da *Diplodia maydis* e *Fusarium moniliforme*, il sito di valutazione principale è stato San Andrés Tuxtla, dove i danni da putrefazione sono frequenti e significativi durante il ciclo primaverile-estivo e in condizioni di coltivazione pluviale; Per il complesso "Mancha de asfalto", la valutazione è stata effettuata durante la stagione autunnale-invernale negli stati di Veracruz e Guerrero, dove questa malattia era naturalmente presente.

Queste informazioni sono state precedentemente documentate e sono riassunte in questo contributo: Inoltre, l'aspetto delle piante e delle spighe e le variabili relative alla salute vengono registrati continuamente durante ogni stagione di semina in esperimenti con linee, incroci o varietà a impollinazione libera. Ciò si riferisce all'espressione totale e alla salute della pianta e della spiga utilizzando una scala di valutazione da 1 a 5, dove 1 corrisponde alla migliore espressione fenotipica e 5 alla peggiore.

Metodi statistici. Sono state effettuate analisi individuali della varianza per le variabili dello studio e analisi combinate per la resa, la percentuale di piante e la gravità del rachitismo delle piante, nonché la percentuale di danni da rachitismo delle pannocchie [Reyes, 1990]. I dati registrati in percentuale sono stati trasformati in gradi angolari [bliss] per l'analisi della varianza. Sono state effettuate correlazioni fenotipiche tra le seguenti variabili: resa con percentuale di danno da arresto della crescita delle piante e delle spighe, gravità, percentuale di danno alle piante con percentuale di danno alle spighe e quest'ultima con aspetto e salute delle spighe. Per determinare il comportamento dei genotipi nei tre ambienti di valutazione, è stato applicato il modello del parametro di stabilità proposto da Eberhart e Russell [1966] per la variabile della resa in granello

Risultati e discussione

In Messico, sono stati segnalati danni nella penisola dello Yucatán e nella regione della costa del Golfo, mentre danni superiori al 25% sono stati registrati nelle colture commerciali di Veracruz [Sierra *et al.*, 2004]. Questa malattia è causata dall'interazione di tre agenti patogeni sulla pianta: il virus della striatura fine del mais [MRFV], lo spiroplasma del mais CSS [*Spiroplasma kunkelii*] e il fitoplasma del mais nano cespuglioso MBSM [Bradfute *et al.*, 1981].

In Messico, l'MBSM è più diffuso del CSS ad altitudini elevate di 2.000 metri, mentre è vero il contrario ad altitudini medie e basse inferiori ai 2.000 metri. Entrambi gli agenti patogeni sono trasmessi dalle cicaline dei generi *Dalbulus* e *Baldulus*. *D. maidis* [Madden e Nault, 1983].

Quando sono stati valutati 10 ibridi con e senza infestazione da *D. maydis* a Cotaxtla, Veracruz, è stato determinato che l'ibrido H-371C ha prodotto 4,66 t ha⁻¹ e l'ibrido H-513 ha registrato una resa di 2,27 t ha⁻¹. Questa tolleranza era dovuta principalmente ai genotipi che mostravano una percentuale inferiore di piante e pannocchie con sintomi di complesso di arresto della crescita [Sierra *et al.*, 2004].

L'INIFAP ha generato gli ibridi H-518 e H-520, che sono ibridi trilineari che utilizzano l'ibrido H-513 come genitore femminile. L'H-520 ha dimostrato tolleranza alla malattia dell'arresto della crescita [Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2008; Sierra *et al.*, 2016].

Rese in granello

Per quanto riguarda la resa in granello degli ibridi e delle varietà di mais [Tabella 1], l'ibrido trilineare H-520 ha registrato la resa media più elevata per località e tra le località [6,98 t ha⁻¹] nelle tre località. Cotaxtla ha registrato la resa media più elevata [7,46 t ha⁻¹], mentre Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave hanno registrato le rese più basse [3,81 e 3,32 t ha⁻¹], con una perdita rispettivamente del 51% e del 44% per ciascuna località, a causa della presenza della malattia del rachitismo.

Ciò suggerisce l'importanza di ottenere genotipi con un elevato potenziale di resa e tolleranza a questa malattia. [Sierra *et al.*, 2004; Henriquez and Jeffers, 1997; De León, 1984; Gordon *et al.*, 1997]

Scatola 1**Tabella 1**

Resa in granello negli ibridi e nelle varietà di mais. Veracruz 2005B

Genealogia	Cotaxtla	Tlalixcoyan	Ignacio de la Llave	Media	Bi	S ² di	T C	Descrizione
H-520	9.81*	5.81*	5.26*	6.98**	1.10	-0.35	37.38*	BAC
H-513	7.54	5.48*	5.04*	6.02	0.59	-0.34	-12.17	S
H-518	8.79*	4.38**	3.92*	5.70	1.19	-0.34	7.00	S
C-343	9.36*	4.49**	2.41	5.42	1.55	0.54	1.87	S
H-519C	7.98**	2.43	3.51**	4.64	1.24	1.09	0.65	BAI
SINT 3	6.48	3.73	3.39**	4.53	0.75	-0.35	-43.45	DAC
VS-536	6.21	3.32	3.27	4.27	0.74	-0.30	-3.74	S
A-7573	7.95**	3.25	1.26	4.15	1.49	0.45	1.76	S
V-537C	5.87	2.80	2.98	3.88	0.75	-0.20	-2.04	S
V-556AC	4.62	2.40	2.16	3.06	0.60	-0.35	-34.06	DAC
Mean	7.46	3.81	3.32	4.86	---	---	---	---
CV [%]	8.26	12.86	19.52	12.67	---	---	---	---
MSE	0.38	0.24	0.42	0.35	---	---	---	---

* e **=Significatività per valori pari a 0,05 e 0,01 di probabilità, rispettivamente; CV = Coefficiente di variazione; MSE = Errore quadratico medio, BAC = Risposta migliore in ambienti favorevoli e costanti; S= Stabile; BAI = Buona risposta in ambienti favorevoli ma incostanti; DAC = Risposta migliore in ambienti sfavorevoli e costanti.

Fonte: Elaborazione propria

Danni da acrobazie

I sintomi principali osservati erano una colorazione rossastra e la proliferazione delle pannocchie di mais, corrispondenti all'agente patogeno Phytoplasma [CMBD] responsabile della malattia del mais cespuglioso; in misura minore, erano presenti sintomi di bande bianche e gialle, corrispondenti alla presenza dell'agente patogeno Spiroplasma [CSS] [De León, 1984; Bradfute et al., 1981; Giménez et al., 2002; e Henriquez e Jeffers, 1997]. Sierra et al., [2010], hanno riportato informazioni sui danni causati dall'arresto della crescita sia alla pianta che alla pannocchia. La percentuale di danni da arresto della crescita nelle piante di mais nelle località di La Torrecilla, Comune di Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave e Cotaxtla, Veracruz, ha registrato una percentuale media di danni rispettivamente del 21,44%, 47,45% e 6,57% in ciascuna località. I genotipi che hanno registrato i danni minori da questa malattia a un livello di significatività dello 0,01% sono stati: gli ibridi H-520, H-513, H-518 e C-343 con rispettivamente il 14,57%, il 16,91%, il 17,74% e il 21,97% per ciascun genotipo [Figure 1 e 2 e Tabella 2].

Scatola 2**Figure 1 e 2**

Sintomi della malattia del nanismo del mais

Fonte: Elaborazione propria

Scatola 3**Tabella 2**

Percentuale di danno e gravità del nanismo del mais nelle piante e nelle pannocchie in tre ambienti a Veracruz nel 2005B

Genotipo	Piccola torre			Ignacio de la Llave			Cotaxtla			Media		
	PPA	S	PDM	PPA	S	PDM	PPA	S	PDM	PPA	S	PDM
H-520	7.86*	3.5*	22.17*	32.49*	2.5*	24.99*	3.35*	1.5*	1.35	14.57*	2.5*	16.18*
H-513	11.77*	4*	36.94*	34.69*	3*	10.94*	4.28*	1.5*	6.10	16.91*	2.83*	17.99*
H-518	15.22*	5	40.36*	34.19*	3.5	25.62*	3.82*	3.5	8.72	17.74*	4	24.90**
C-343	15.46*	3*	64.27	47.27*	6.5	44.47	3.19*	2*	6.27	21.97**	3.8**	38.34
SINT 3	18.75**	5	52.38	46.78*	5*	24.96*	6.18*	3**	9.50	23.90	4.33	28.95
VS536	24.26	7	59.66	45.96*	5*	25.73*	6.37*	4	5.60	25.53	5.33	30.33
H519C	28.15	7	65.26	58.33	6**	38.30	4.69*	2.5*	12.96	30.39	5.17	38.83
A-7573	25.57	4*	99.10	58.04	6.5	92.80	15.07	4	11.57	32.89	4.83	67.83
V537C	35.88	7	64.43	57.06	7.5	24.80*	6.14*	4	5.28	33.03	6.17	31.50
V556AC	31.53	6.5	45.88**	59.75	8.5	34.32	12.61	3.5	5.15	34.63	6.17	28.45
Media	21.44	5.20	55.05	47.45	5.4	34.69	6.57	2.95	7.25	25.16	4.52	32.33
CV [%]	8.57	15.7	8.35	8.28	21.2	19.13	18.25	17.61	16.83	10.19	19.15	15.59

* e **=Significatività delle voci con probabilità pari a 0,05 e 0,01; PPA = Percentuale di piante con danni da arresto della crescita; S = Gravità; PDM = Percentuale di pannocchie con danni da arresto della crescita; CV = % Coefficiente di variazione

Fonte: Elaborazione propria

Per quanto riguarda le località, Cotaxtla ha registrato una resa media di granella pari a 7,46** t ha⁻¹; nella variabile percentuale di danno alle piante dovuto al rachitismo, Ignacio de la Llave ha registrato il valore medio più alto con il 47,45%**; seguito da La Torrecilla, nel comune di Tlaxicoyan, con il 21,44%, mentre il valore più basso è stato registrato a Cotaxtla, con il 6,57%; Allo stesso modo, nella variabile della gravità, Ignacio de la Llave e La Torrecilla, Veracruz, hanno registrato i valori più alti, rispettivamente 5,4 e 5,2 per ciascuna località.

Tlaxicoyan e Ignacio de la Llave sono zone in cui la coltivazione del mais per la produzione di mais è importante e le date di semina scaglionate non consentono di interrompere il ciclo del vettore, la cicalina *D. maydis*

Correlazioni fenotipiche

Il lavoro riportato da Sierra *et al.*, [2010], ha trovato una correlazione negativa e altamente significativa tra la resa in granella e la percentuale di arresto della crescita delle piante [-0,78**], la gravità del danno alle piante [-0,81**] e la percentuale di arresto della crescita delle pannocchie [-0,71**]. Ciò indica che maggiore è il danno di arresto della crescita delle piante e delle pannocchie e maggiore è la gravità, minore è la resa in granella.

La variabile “percentuale di arresto della crescita delle piante” ha registrato una correlazione positiva e altamente significativa con la gravità del danno [0,77**], la percentuale di pannocchie con arresto della crescita [0,44*] e la salute delle piante [0,81**]. Infine, è stata riscontrata una correlazione positiva e altamente significativa tra la percentuale di pannocchie con arresto della crescita e le variabili aspetto delle pannocchie [0,84**] e salute delle pannocchie [0,81**].

Questi valori suggeriscono che la malattia dell'arresto della crescita influisce sulla resa in granella e sulla qualità delle pannocchie e della granella [Gordon, *et al.* 1997].

Marciume delle spighe

Il marciume delle spighe è la malattia più comune in tutto il mondo nei climi caldi, umidi e secchi [De León 1984]. Le malattie che attaccano il chicco e la spiga possono ridurre significativamente la resa, la qualità e il valore nutrizionale. In Messico, è stata segnalata nei principali stati produttori di mais. Nei tropici umidi del Messico, questo problema è comune nelle zone con maggiore umidità relativa e nuvolosità [Betanzos 2001].

Le condizioni che favoriscono l'infezione da funghi patogeni nella spiga sono un ambiente secco all'inizio della stagione, seguito da umidità prima e dopo la comparsa della seta. Gli agenti causali che attaccano maggiormente il grano e la pannocchia appartengono ai generi: *Giberella* nei climi temperati, *Fusarium* negli altipiani temperati, subtropicali e tropicali; *Diplodia* nei climi subtropicali e *Botrydiplochia* durante l'estate nei climi tropicali. D'altra parte, menziona che la putrefazione si verifica quando ci sono periodi molto umidi durante la formazione del chicco e suggerisce che i funghi più frequenti sono: *Fusarium moniliforme*, *Diplodia maydis*, *Nigrospora orizae*, *Cladosporium herbarum* e diverse specie di *Penicillium*, *Aspergillus* e *Rhizopus*. *Diplodia maydis* è molto importante nella maggior parte delle zone in cui il mais è coltivato in modo estensivo.

Il fungo è la causa di una quantità considerevole di macchie fogliari, rotture dello stelo, caduta delle pannocchie, scarsa qualità dei chicchi e basse rese. Questi agenti patogeni si trovano generalmente in luoghi temperati e caldi con abbondante umidità. Il marciume inizia alla base della pannocchia e si diffonde a tutti i chicchi man mano che progredisce verso la punta [Figura 3]. I sintomi iniziali sulla pannocchia includono una decolorazione grigio-verde delle spate, che poi si raggrinziscono e si seccano; l'infezione precoce provoca il marciume completo della pannocchia, che diventa raggrinzita e di colore grigio-marrone o giallastro, con una crescita cotonosa tra i chicchi.

Scatola 4

Tabella 3

Resa in granella t ha⁻¹ e parametri di stabilità degli ibridi di mais proteico di qualità in diversi ambienti CIRGOC 2001B e 2002B

Entrata	Genealogia	Media	%				Descrizione
			Relativo	Bi	S ² Di	Tcalc	
60	REMACO38	7.12*	112	1.34	-0.31	1.96	S
33	CLQ6203XCML150	7.10*	112	1.30	-0.27	1.60	S
36	CML146XCML142	7.08*	111	1.51	0.45	1.50	S
59	REMACO37	6.93*	109	1.16	-0.25	0.81	S
58	H-520	6.87*	108	1.66	-0.13	2.93*	BAC
39	CML176XCML142	6.87*	108	1.25	-0.04	1.02	S
53	H-553 C	6.79*	107	1.15	-0.44	1.16	S
43	H-363 C	6.75*	106	1.12	0.38	0.36	S
1	[CML141XCML144]XCML142	6.73*	106	1.14	0.66	0.36	S
40	CML176XCML144	6.67*	105	0.97	0.47	-0.08	S
55	H-559 C	6.64*	104	0.92	-0.22	-0.40	S
10	[CML144XCML159]XCML186	6.54**	103	1.30	0.10	1.09	S
62	PANTERA	6.53**	103	1.15	0.43	0.43	S
12	[CML149XCML186]XCML142	6.53**	103	1.15	-0.38	1.00	S
34	CLQ6601XCML172	6.51**	102	1.28	-0.39	1.85	S
15	[CML149XCML186]XCML176	6.49**	102	0.78	-0.32	-1.26	S
30	[CML186XCML142]XCML176	6.44**	101	0.80	-0.08	-0.83	S
26	[CML177XCML186]XCML142	6.41**	101	0.63	-0.30	-2.05	S
17	[CML158XCML144]XCML176	6.40**	101	0.75	-0.33	-1.51	S
31	[CML186XCML146]XCML142	6.36	100	1.10	0.45	0.29	S
63	H-513	6.36	100	1.05	-0.50	0.53	S
19	[CML173XCML142]XCML186	6.33	100	1.52	-0.00	2.03	BAI
11	[CML146XCML142]XCML159	6.25	98	0.89	0.09	-0.38	S
50	H-519 C	6.06	95	0.95	-0.37	-0.34	S
56	H-516	5.80	91	0.90	-0.50	-1.07	S
	Media	6.15					
	CV [%]	12.38					
	DMS0.05	0.56					
	DMS0.01	0.74					

S = Stabile; BAC = Risposta migliore in ambienti favorevoli e costante; BAI = Risposta favorevole in tutti gli ambienti ma incostante

Fonte: Elaborazione propria

La marciume delle spighe è più comune durante i periodi di impollinazione secchi seguiti da tempo umido, e le spighe sono più suscettibili all'infezione due o tre settimane dopo la fioritura femminile. Sierra et al., [2004], da una valutazione degli ibridi di mais per la loro tolleranza al marciume delle pannocchie, è stato individuato un gruppo di 11 ibridi eccellenti per la resa in granella

[Tabella 3] e 9 eccellenti per la percentuale di pannocchie marce con una probabilità dello 0,05 [Reyes, 1990] [Tabella 4], di cui H-520 e H-518 sono ibridi trilineari normali e 7 sono ibridi con elevata qualità proteica, quali: CLQ6203 x CML150, CLQ6601 x CML172, H-371C, CML176 x CML144, H-554C, CML146 x CML142 e H-551C.

Scatola 5



Figure 3

Marciume dell'orecchio causato dai funghi del mais *Diplodia maydis*, *Fusarium moniliforme* e, in misura minore, *Nigrospora orizae*

Fonte: Elaborazione propria

Per quanto riguarda la percentuale di pannocchie marce, San Andrés Tuxtla ha registrato la percentuale media di danno più elevata [29,88%]. Ciò è dovuto al fatto che la località presenta condizioni climatiche che favoriscono la presenza dei funghi *Fusarium moniliforme* e *Diplodia maydis*, agenti causali del marciume delle pannocchie, quali: elevata umidità relativa e forte nuvolosità durante la fioritura e il periodo di riempimento del chicco [Betanzos 2001] [Tabella 4]. Gli agenti causali del marciume delle spighe nella località di San Andrés

Tuxtla, Veracruz were *Fusarium moniliforme*, *Diplodia maydis* and, to a lesser extent, *Nigrospora orizae*

Scatola 6

Tabella 4

Percentuale di marciume dell'orecchio negli ibridi di mais proteico di qualità. CIRGOC 2001B e 2002B

Entrata	Genealogia	COT 01	PAPAN 01	HUIM 01	HUIM 02	COT 02	SAT 02	Media
33	CLQ6203XCML150	3.4	1.19	0	0	0	12.16	2.79*
34	CLQ6601XCML172	0.3	1.13	0	0	0	16.24	2.95*
57	H-518	4.3	2.5	1.32	0	0.13	14.68	3.82*
47	H-371 C	3.2	2.7	0	0.98	1.33	19.23	4.57*
58	H-520	3	5	0	0	1.23	19.22	4.74*
40	CML176XCML144	1.4	1.09	0	0	1.89	26.19	5.10*
54	H-554 C	1.6	5.74	1.35	0	1.04	21.42	5.19*
36	CML146XCML142	3.9	8.29	0	0	1.53	17.77	5.25*
51	H-551 C	1.7	3.31	0	0	4.08	22.43	5.25*
60	REMACO38	1.3	4.85	0	0	0	25.92	5.35**
63	H-513	1.3	5.13	3.77	0	0.14	22.81	5.53**
59	REMACO37	2.9	7.63	0	0	0.46	24.63	5.94**
1	[CML141XCML144]XCML142	6.2	0	0	0	0.13	29.38	5.95**
39	CML176XCML142	4.7	5.99	0	0	1.26	24.42	6.06**
52	H-552 C	0.8	7.14	0	0	0.72	29.77	6.41**
31	[CML186XCML146]XCML142	5.9	5.53	0	0	1.86	26.08	6.56**
4	[CML142XCML149]XCML176	8.4	2.13	0	0.89	1.91	26.69	6.67**
43	H-363 C	2.5	11.01	0	0	2.86	25.59	6.99**
48	H-441 C	5.4	2.28	1.85	0	4.25	30.17	7.33**
11	[CML146XCML142]XCML159	7.6	7.32	1.19	0	4	24.54	7.44**
50	H-519 C	3.1	2.09	2.28	0	2.28	35.21	7.49**
26	[CML177XCML186]XCML142	5.6	2.22	1.16	0	1.78	34.35	7.52**
8	[CML142XCML186]XCML144	3.3	11.25	2.33	1	1.37	26.36	7.60**
55	H-559 C	3.3	5.77	1.04	1.75	1.95	32.71	7.75
64	H-558C	7.8	18.75	1.28	0	3.28	15.89	7.83
53	H-553 C	3.9	11.74	0	3.69	4.59	24.51	8.07
41	CML176XCML159	5.6	4.84	0	0	0.15	38.82	8.24
56	H-516	8.7	9.52	4.89	0	0.94	28.8	8.81
19	[CML173XCML142]XCML186	14.1	25.38	1.09	0.94	6.16	34.47	13.69
25	[CML177XCML149]XCML186	14.4	13.41	3.41	2.12	0.92	50.28	14.09
	Media	7.65	8.57	2.08	0.57	2.31	29.88	8.51
	LSD	8.8	0	0	0	0	15.57	1.46
	CV [%]	57.3	32.08	46.17	32.94	42.22	25.94	27.97
	FSIG	1	0	0	0	0	5	1

*e **= Significatività delle voci rispettivamente a 0,05 e 0,01 di probabilità; COT= Cotaxtla, PAPAN= Papantla, HUIM = Huimanguillo, SAT= San Andrés Tuxtla, Veracruz

Fonte: Elaborazione propria

“Macchia d'asfalto”.

Il complesso "Mancha de asfalto" [ASC], associato ai funghi *Phyllachora maydis* Maubl. e *Monographella maydis* Müller & Samuels, è una malattia che dall'inizio degli anni '90 è diventata il principale fattore limitante nella produzione di mais [*Zea mays* L.] in alcune zone dei tropici umidi e subumidi e nelle zone di transizione [Hock et al., 1989] in varie regioni del Messico e dell'America centrale [Figure 4 e 5]. L'incidenza dell'ASC causa gravi perdite di resa, deteriora la qualità del foraggio [Pereyda et al., 2009] e può potenzialmente distruggere alcuni appezzamenti. In Messico, la malattia è considerata potenzialmente importante in circa 800.000 ettari distribuiti negli stati di Jalisco, Nayarit, Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas e Guerrero. [Gómez et al., 2013]

Scatola 7



Figure 4 e 5

Sintomi della "macchia dell'asfalto" nelle piante di mais causata da *Phyllachora maydis* Maubl. e *Monographella maydis* Müller & Samuels

Fonte: Elaborazione propria

Nei tropici e subtropici del Messico vengono coltivati poco più di 4 milioni di ettari di mais [Gómez et al., 2013]. In queste zone, la malattia fogliare “Mancha de asfalto” colpisce più di 500.000 ettari negli stati di Nayarit, Jalisco, Guerrero, Chiapas e Veracruz. Il complesso “Mancha de asfalto” [ASC] del mais [*Zea mays* L.], indotto dai funghi *Phyllachora maydis* Maubl e *Monographella maydis* Müller & Samuels, è una malattia importante dal punto di vista económico.

Il miglioramento genetico della resistenza dell'ospite attraverso la generazione di genotipi resistenti rappresenta la misura di controllo più efficace per la malattia [Hernandez et al., 2015; Hock et al., 1989]. La “Mancha de asfalto” *Phyllachora maydis* e *Helminthosporium turcicum* aumentano principalmente in condizioni di elevata umidità relativa e basse temperature. Ciò è comune nel Messico sud-orientale durante la stagione di semina autunnale-invernale in condizioni di tonalmil. Le semine che si realizzano con le piogge residue della tempesta e le piogge occasionali causate dai venti settentrionali [Figura 6]

Nel nord dello stato di Veracruz, durante la stagione autunnale-invernale, sotto la pressione naturale della “Mancha de asfalto” causata dal fungo *Phyllachora maydis* e dalla ruggine fogliare causata dal fungo *Helminthosporium turcicum*, è stato identificato l'ibrido H-513, la cui genealogia corrisponde all'incrocio semplice LT154xLT155, definito tollerante alla “Mancha de asfalto” e alla ruggine fogliare; in particolare, questo incrocio semplice è il genitore femminile degli ibridi H-520, H-518 rilasciati a Cotaxtla, Ver e H-562 rilasciati a Iguala Guerrero per la regione costiera del Pacifico; Così come l'H-563, tollerante alla “Mancha de asfalto” e la cui genealogia è [CML-311-5-1-3-1 x CML-269-1-2-1-3-1]xLT154.

Il miglioramento genetico della resistenza dell'ospite attraverso la generazione di genotipi resistenti rappresenta la misura di controllo più efficace per la malattia. La selezione ricorrente potrebbe essere il metodo di allevamento più utile per accumulare e aumentare i livelli di resistenza alle malattie in popolazioni sintetiche o composite [Hernández et al., 2015]

Scatola 8



Figure 6

Sintomi della ruggine fogliare causata da *Helminthosporium turcicum*

Fonte: Elaborazione propria

Sfide nel miglioramento genetico

Identificazione delle fonti di resistenza attraverso la valutazione del germoplasma per la sua tolleranza alle malattie Corn Stunt, “Mancha de asfalto” Complex e marciume delle pannocchie e l'uso di germoplasma migliorato e autoctono della razza Tuxpeño e di altre razze per ottenere ibridi e varietà di mais con una buona resa e caratteristiche agronomiche favorevoli, con tolleranza ai fattori biotici e abiotici avversi, adatti alla regione tropicale nel sud-est del Messico.

Conclusioni

I genotipi che hanno registrato la resa più elevata e la minore incidenza e gravità dei danni da arresto della crescita nelle piante e nelle pannocchie sono stati H-520, H-513, H-518 e C-343.

Le località con la percentuale più elevata di danni da arresto della crescita e gravità nelle piante e nelle pannocchie sono state Ignacio de la Llave e La Torrecilla, nel comune di Tlaxicoyan, Veracruz. Questi sono considerati ambienti adatti per la selezione di genotipi tolleranti a questa malattia

Gli ibridi H-513, H-520, H-518, H-562 e H-563 hanno mostrato un'elevata resa in granello e caratteristiche agronomiche, oltre a tolleranza al complesso “Mancha de asfalto”

Gli ibridi normali REMACO 38, H-520 e quelli ad alta qualità proteica CLQ6203xCML150, CML146xCML142, CML176xCML142, H-553C, H-363C, [CML141xCML144]xCML142, CML176xCML144, hanno mostrato un'elevata resa in granello e le percentuali più basse di marciume della pannocchia

San Andrés Tuxtla ha registrato la percentuale media più alta di marciume della pannocchia [29,88%] e, date le sue condizioni climatiche, è considerato un ambiente che consente la selezione di genotipi tolleranti al marciume della pannocchia

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano l'assenza di conflitti di interesse.

Dichiarazione di contributo degli autori

Sierra-Macías, Mauro: coltivatore di mais, corresponsabile del progetto: “Mejoramiento genético y registro de variedades de maíz para el trópico bajo de México y sus nichos ecológicos”. Partecipante alla generazione di genotipi di mais, variabili e registrazione dei dati

Becerra-Leor, Enrique Noé. *Patologia vegetale* variabili e registrazione dei dati, organizzazione dei dati ed elaborazione delle informazioni

Gómez-Montiel, Noel Orlando: Miglioratore di mais, responsabile del progetto: “Mejoramiento genético y registro de variedades de maíz para el trópico bajo de México y sus nichos ecológicos”. Partecipazione alla generazione di genotipi di mais, variabili e registrazione dei dati

Espinosa-Calderón, Alejandro. Allevatore di mais, organizzazione dei dati ed elaborazione delle informazioni

Disponibilità di dati e materiali

I dati e le informazioni presentati in questo contributo sono dati di esperimenti condotti dall'INIFAP.

Finanziamenti

Gli autori desiderano ringraziare l'INIFAP [Istituto Nazionale di Ricerca Forestale, Agricola e Zootecnica] in Messico per aver finanziato e sostenuto questa ricerca.

Abbreviazioni

SECIHTI	Ministero della Scienza, delle Scienze umane, della Tecnologia e dell'Innovazione
CP	Scuola di specializzazione
INAPESCA	Istituto Nazionale della Pesca
INIFAP	Istituto Nazionale di Ricerca Forestale, Agricola e Zootecnica
SADER	Ministero dell'Agricoltura, dell'Allevamento e dello Sviluppo Rurale
SIAP	Servizio di informazione agroalimentare e ittica
TECNM	Istituto Tecnologico Nazionale del Messico
UACH	Università Autonoma di Chapingo
UV	Università di Veracruz

Riferimenti

Nozioni di base

Eberhart S., A. y W., A. Russell. 1966. [Stability parameters for comparing varieties](#). *Crop sci.* [6]: 36-40.

Espinosa C., A.; Tadeo R., M.; Turrent F., A.; Zamudio G., B.; Valdivia B., R.; Sierra M., M.; Gómez M., N.; Virgen V., J.; Mora G., K.Y. 2019. [Producción de maíz y soberanía alimentaria en el contexto del deterioro ambiental de México](#). En: *Economía política de la devastación ambiental y conflictos socioambientales en México*. Coord. Barreda M., A., Enriquez V., L. y Espinoza H., R. p. 323-380.

García., M.E. 2004. [Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen](#). 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México DF México 246p.

Reyes C., P. 1985. [Fitogenotecnia básica y aplicada](#). AGT Editor, México. 460 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] 2022. [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas Producción agrícola](#). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural [SADER]. Disponible en: http://www.gob.mx/siap/acciones_y_programas_de_produccion_agricola. [Cons. 31 de julio del 2023]. s/p.

Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A., Gómez M., N.; Espinosa, C., A.; Ugalde A., F.J.; Andrés M., P. 2019. [Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México](#). En: *Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático*. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNМ, Medellín, Ver. p. 482-499.

Reyes C., P. 1990. [Diseño de experimentos aplicados](#). Ed Trillas 3ª Ed. México D.F. 348p

Supporti

- Bradfute, O.E.; Tsai, J.H.; and Gordon, D.T. 1981. [Corn stunt spiroplasma and viruses associated with a maize disease epidemic in southern Florida](#). *Plant Disease*. 65: 837-841.
- De León, C. 1984. [Enfermedades del maíz](#). Una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Tercera Ed., El Batán, Texcoco, Edo. México. 114 p.
- Henríquez, P. y Jeffers, D. 1997. [El achaparramiento del maíz: patógenos, síntomas y diagnóstico](#). In: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1993-1995. CIMMYT PRM Guatemala. Vol. 5: 283-290
- Hernández R., L.; Sandoval I., J.S.; Mahuku., G.; Benítez R., I.; y Cruz I., S. 2015. [Genética de la resistencia al complejo Mancha de asfalto en 18 genotipos tropicales de maíz](#). *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 38 [1]: 39 – 47
- Hock J., J.; Kranz y B. L. Renfro 1989. [El “Complejo mancha de asfalto” de maíz, su distribución geográfica, requisitos ambientales e importancia económica en México](#). *Revista Mexicana de Fitopatología* 7:129-135
- Madden, L.V.; and Nault, L.R. 1983. [Differential pathogenicity of corn stunting Mollicutes to leafhopper vectors in *Dalbulus* and *Balbulus* species](#). *Phytopathology*. 73: 1608-1614.
- Nault, L.R. 1980. [Maize bushy stunt and corn stunt: A comparison of disease symptoms, pathogens host ranges and vectors](#). *Phytopathology* 70: 659-662.
- Pereyda H., J, J.; Hernández M., J. S.; Sandoval I., S.; Aranda O., C.; De León, C.; Gómez M., N. 2009. [Etiología y manejo de la mancha de asfalto \[*Phyllachora maydis* Maubl.\] del maíz en Guerrero, México](#). *Agrociencia* 43:511-519.

Contesto

- Betanzos M.E. 2001. [Variedades de maíz resistentes, una opción para reducir la pudrición de mazorca en Chiapas México](#). *Agric. Tec. Méx.* Vol. 27 [1]: 57-67
- Giménez P., M.; De Oliveira E.; Resende R., O.; Laguna I., G; Conci L., R; Avila A.; Herrera P.; Caldeano E.; Virla E.; y Nome C., F. 2002. [Occurrence of corn stunt maize viruses in the provinces of Tucumán and Córdoba in Argentina](#). *Fitopatol. Bras.* [27]: 403-407
- Gómez M., N.; González C., M.; Cantú A., M.A.; Sierra M., M.; Coutiño E., B.; Manjarrez S., M. 2013. [H-563, Híbrido de maíz tropical tolerante a la enfermedad “Mancha de Asfalto”](#). *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol. 36 [1]: 81-83
- Gómez M., N.; Sierra M., M.; González C., M.; Cantú A., M.A.; Ramírez F., A.; Wong P., J.J.; Manjarrez S., M.; Ramírez D., J.L.; Espinosa C., A. 2008. [H-562, híbrido de maíz de alto rendimiento para el trópico húmedo y seco de México](#). *Agricultura Técnica en México* Vol 34 [1]: 101-105
- Gordon, R.; de Gracia, N.; Franco, J.; y González, A. 1997. [Evaluación de distintas épocas de siembra y la incidencia del achaparramiento en maíz, Azuero, Panamá, 1993-94](#). In: Síntesis de resultados experimentales del PRM 1993-1995. CIMMYT-PRM Guatemala. Vol 5: 268-273.
- Sierra M., M; Palafox c., A.; Rodríguez M., F.; Espinosa C., A.; Vásquez C., G.; Gómez M., N.; Filiberto Caballero H., F.; Barrón F., S.; Zambada M., A. 2008. [H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México](#). *Agricultura Técnica en México* 34[1]: 119-122.
- Sierra M., M.; Becerra L., E.N.; Palafox C., A.; Rodríguez M., F.A.; Espinosa C., A.; Valdivia B., R. 2010. [Tropical corn \[*Zea mays* L.\] genotypes with high yield and tolerance to corn stunt disease in the Gulf of Mexico Region](#). *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* Vol. 12 [3]: 485-493

Sierra M., M.; Palafox C., A.; Becerra L., E.N.; Córdova O., H.; Espinosa C., A.; Rodríguez M., F.A. 2007. [Comportamiento de híbridos de maíz con alta calidad de proteína, por su buen rendimiento y tolerancia al “Achaparramiento”](#). *Agronomía mesoamericana* Vol 18 [1]: 27-35

Sierra M., M.; Becerra L., E.N.; Palafox C., A.; Barrón F., S.; Cano R., O.; Zambada M., A.; Sandoval R., A.; Romero M., J. 2004. [Caracterización de híbridos de maíz con alta calidad de proteína por su rendimiento y tolerancia a pudrición de mazorca](#). *Revista Mexicana de Fitopatología* Vol 22 [2]: 268-276

Sierra M., M.; Rodríguez M., F.A.; Palafox C., A.; Espinosa C., A.; Andrés M., P.; Gómez M., N.; Valdivia B., R. 2016. [Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México](#). *Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo* Vol 13 [1]: 19-32

.

L'intelligenza artificiale garantisce la qualità nei sistemi di produzione?

¿La Inteligencia Artificial garantiza la Calidad en los Sistemas Productivos?

Muñoz-Hernandez, Raquel* ^a

^a  Universidad Politécnica del Valle de México •  I-6661-2018 •  0000-0002-4461-8027 •  1001913

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.57.62>

Area: Ingegneria

Campo: Ingegneria

Disciplina: Ingegneria industriale

Sottodisciplina: Sicurezza industriale

Punti chiave del manuale

Il suo lavoro si distingue per l'approccio globale alla salute sul lavoro e al benessere sociale, che si manifesta attraverso progetti che affrontano temi quali lo studio dell'antropometria facciale e cranica dei bambini di 4, 5 e 6 anni, i fattori psicosociali nei lavoratori della sicurezza, l'analisi ergonomica delle prestazioni degli insegnanti negli istituti di istruzione superiore, le condizioni di lavoro nella produzione manifatturiera, tra gli altri; ottenendo dati rilevanti per progettare strategie che riducano al minimo i rischi e promuovano la salute. Studi sulla fatica in relazione alla capacità polmonare e valutazione dei disturbi di salute nei conducenti di mezzi di trasporto pubblico, per identificare i rischi in diversi segmenti della popolazione. Un obiettivo fondamentale del suo lavoro è la diffusione e l'applicazione legale dell'ergonomia, incentrata sulla riduzione delle malattie professionali e degli infortuni sul lavoro. Sviluppare metodologie inclusive che facilitino l'apprendimento, utilizzando tecnologie digitali per i gruppi vulnerabili e integrare la normatività e lo sviluppo tecnologico nell'istruzione, offrendo strumenti per migliorare la qualità della vita e costruire un futuro più inclusivo e sicuro per tutti nell'ambiente di lavoro. Questa ricerca apporta progressi significativi nell'applicazione dell'intelligenza artificiale [IA] ai sistemi produttivi, sottolineando la sua capacità di ottimizzare la qualità nei processi industriali attraverso algoritmi di apprendimento automatico. I risultati dimostrano che l'IA è in grado di prevedere i guasti dei macchinari, riducendo i tempi di inattività e migliorando l'efficienza operativa. Attraverso casi di studio, come quello di uno stabilimento automobilistico che ha ridotto del 30% il suo tasso di difetti, è evidente l'applicabilità pratica di questi strumenti. La metodologia, basata su una revisione sistematica della letteratura, interviste ad esperti e analisi di casi, garantisce il rigore scientifico dei risultati. Lo studio sottolinea l'importanza dell'interdisciplinarietà, dell'adattabilità tecnologica e dell'etica nella ricerca, promuovendo la replicabilità e la generazione di conoscenza universale. Si conclude che l'IA ha un impatto positivo sulla qualità dei sistemi produttivi, anche se richiede un adattamento contestuale e una ricerca continua.

Area: Advocacy e attenzione ai problemi nazionali

Citazione: Muñoz-Hernandez, Raquel. 2025. L'intelligenza artificiale garantisce la qualità nei sistemi di produzione?. 57-62. PIREQA.

* ✉ [\[raquelmunozhernandez7@gmail.com\]](mailto:raquelmunozhernandez7@gmail.com)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>






ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario




L'intelligenza artificiale [IA] si è affermata come strumento di trasformazione in vari settori industriali, in particolare nei sistemi di produzione. In un ambiente altamente competitivo, le aziende devono affrontare la sfida di ottimizzare le proprie risorse e migliorare la qualità dei prodotti per soddisfare le crescenti richieste dei consumatori. Questo articolo analizza come l'implementazione di tecnologie basate sull'AI contribuisca all'efficienza operativa, al processo decisionale strategico e all'innovazione nei processi produttivi. Presenta casi di studio, applicazioni avanzate, sfide tecniche ed etiche e una rassegna della recente letteratura scientifica nel campo dell'ingegneria industriale.

L'intelligenza artificiale garantisce la qualità nei sistemi di produzione?		
Obiettivi	Metodologia	Contributo
<p>L'intelligenza artificiale [IA] si è affermata come strumento di trasformazione in vari settori industriali, in particolare nei sistemi di produzione.</p> <p>Il presente documento analizza in che modo l'implementazione di tecnologie basate sull'IA contribuisce all'efficienza operativa, al processo decisionale strategico e all'innovazione nei processi di produzione.</p> 	<p>La manutenzione predittiva utilizza sensori IoT e algoritmi di apprendimento automatico per anticipare i guasti dei macchinari. Ciò riduce i tempi di fermo macchina e i costi di riparazione.</p> <p>Nell'ingegneria di produzione, ciò si traduce nella capacità di ottimizzare i processi, ridurre gli errori umani, migliorare la tracciabilità e aumentare la flessibilità operativa.</p> <p>Sistemi basati su reti neurali convoluzionali</p> 	<p>L'intelligenza artificiale consente di prevedere la domanda, ottimizzare i percorsi logistici e gestire le scorte in modo dinamico.</p> <p>La visione artificiale consente di rilevare i difetti dei prodotti in tempo reale.</p> <p>Ciò migliora la resilienza alle interruzioni e riduce i costi operativi.</p> 

Intelligenza artificiale, sistemi di produzione, Lean Manufacturing

Resumen

La Inteligencia Artificial [IA] ha emergido como una herramienta transformadora en diversos sectores industriales, especialmente en los sistemas de producción. En un entorno altamente competitivo, las empresas enfrentan el reto de optimizar sus recursos y mejorar la calidad de sus productos para satisfacer las crecientes demandas del consumidor. Este artículo analiza cómo la implementación de tecnologías basadas en IA contribuye a la eficiencia operativa, la toma de decisiones estratégicas y la innovación en procesos productivos. Se presentan estudios de caso, aplicaciones avanzadas, desafíos técnicos y éticos, así como una revisión de literatura científica reciente en el ámbito de la ingeniería industrial.

¿La Inteligencia Artificial garantiza la Calidad en los Sistemas Productivos?		
Objetivos	Metodología	Contribución
<p>La Inteligencia Artificial [IA] ha emergido como una herramienta transformadora en diversos sectores industriales, especialmente en los sistemas de producción.</p> <p>La Inteligencia Artificial [IA] ha emergido como una herramienta transformadora en diversos sectores industriales, especialmente en los sistemas de producción. Se presentan estudios de caso, aplicaciones avanzadas, desafíos técnicos y éticos, así como una revisión de literatura científica reciente en el ámbito de la ingeniería industrial.</p> 	<p>El mantenimiento predictivo utiliza sensores IoT y algoritmos de aprendizaje automático para anticipar fallos en maquinaria. Esto permite reducir tiempos de inactividad y costos de reparación.</p> <p>El mantenimiento predictivo utiliza sensores IoT y algoritmos de aprendizaje automático para anticipar fallos en maquinaria. Esto permite reducir tiempos de inactividad y costos de reparación.</p> <p>La visión computacional permite detectar defectos en productos en tiempo real.</p> <p>Sistemas basados en redes neuronales convolucionales</p> 	<p>La IA permite predecir la demanda, optimizar rutas logísticas y gestionar inventarios de forma dinámica. La visión computacional permite detectar defectos en productos en tiempo real.</p> <p>Esto mejora la resiliencia ante interrupciones y reduce costos operativos</p> 

Intelligenza Artificiale, sistemi di produzione, Lean Manufacturing

Introduzione

L'evoluzione tecnologica ha portato a una rivoluzione nel modo in cui le organizzazioni gestiscono i propri processi produttivi. L'intelligenza artificiale, intesa come la capacità delle macchine di simulare comportamenti intelligenti, è stata adottata da molteplici settori industriali con l'obiettivo di aumentare la propria competitività [Lee, Kao & Yang, 2018].

In questo contesto, la qualità del prodotto e l'efficienza nell'uso delle risorse sono diventate pilastri fondamentali per il successo aziendale. Questo articolo si propone di approfondire l'impatto dell'IA sui sistemi di produzione da una prospettiva scientifica e ingegneristica, affrontandone le applicazioni, i vantaggi, le sfide e le proiezioni future.

Metodologia

L'IA si basa su algoritmi che consentono alle macchine di apprendere dai dati, prendere decisioni ed eseguire compiti in modo autonomo. Nell'ingegneria di produzione, ciò si traduce nella capacità di ottimizzare i processi, ridurre gli errori umani, migliorare la tracciabilità e aumentare la flessibilità operativa [McKinsey & Company, 2023]. Le tecniche più utilizzate includono l'apprendimento automatico [machine learning], le reti neurali artificiali, la logica fuzzy, gli algoritmi genetici e la visione artificiale.

Casi di studio e prove scientifiche

Diversi studi hanno documentato l'impatto positivo dell'IA sull'industria manifatturiera. Ad esempio, IBM [2025] riferisce che l'integrazione dell'IA nelle fabbriche intelligenti ha migliorato l'efficienza energetica del 30% e ridotto gli sprechi del 20%. In un altro studio, Peñalver-Higuera & Isea-Argüelles [2024] analizzano la trasformazione verso fabbriche intelligenti nel contesto dell'Industria 4.0, sottolineando l'automazione delle attività ripetitive e il miglioramento del processo decisionale.

Vengono presentate applicazioni avanzate dell'IA nei sistemi di produzione, tra cui la manutenzione predittiva, il controllo automatizzato della qualità, l'ottimizzazione della catena di fornitura e la robotica collaborativa. Inoltre, vengono analizzati casi reali documentati da aziende come BMW, Tyson Foods, CashKeeper, ZEISS e Amazon, nonché studi scientifici e relazioni industriali.

È inclusa anche una rassegna della letteratura scientifica recente nel campo dell'ingegneria industriale e viene presa in considerazione l'integrazione dell'IA con metodologie come Lean Manufacturing e Six Sigma, sottolineando il ruolo di professionisti certificati come Black Belt.

- **Manutenzione predittiva:** utilizza sensori IoT e algoritmi di apprendimento automatico per anticipare i guasti dei macchinari. Ciò consente di ridurre i tempi di inattività e i costi di riparazione. Studi come quello di Reyes & Castillo [2024] dimostrano che l'implementazione dell'IA nella manutenzione può aumentare la disponibilità operativa del 25%.
- **Controllo qualità automatizzato:** la visione artificiale consente di rilevare i difetti dei prodotti in tempo reale. I sistemi basati su reti neurali convoluzionali [CNN] hanno raggiunto precisioni superiori al 95% nell'ispezione di pezzi industriali [Peñalver-Higuera & Isea-Argüelles, 2024].
- **Ottimizzazione della catena di approvvigionamento:** l'IA consente di prevedere la domanda, ottimizzare i percorsi logistici e gestire le scorte in modo dinamico. Ciò migliora la resilienza alle interruzioni e riduce i costi operativi [IBM, 2025].
- **Robotica collaborativa:** i robot collaborativi [cobot] integrano l'IA per adattarsi a compiti variabili e lavorare insieme agli esseri umani. Ciò migliora la sicurezza e l'efficienza delle linee di produzione [McKinsey & Company, 2023].
- **Fabbriche intelligenti [Industria 4.0]:** le fabbriche intelligenti utilizzano l'IA per regolare i parametri in tempo reale, riducendo gli scarti e i difetti in processi come la profilatura delle lamiere, ottenendo un risparmio del 12,5% sui costi dei materiali. ZEISS Industrial Quality Solutions consente di passare dall'ispezione reattiva a strategie predittive, anticipando gli errori prima che generino perdite.

Risultati

Dalla revisione sono stati ottenuti dati rilevanti nei sistemi produttivi utilizzando l'IA come:

Casi reali:

- **BMW:** Implementazione dell'IA per il controllo qualità e i gemelli digitali, riducendo i difetti del 30% e migliorando la tracciabilità.
- **Tyson Foods:** utilizzo dell'IA per l'ispezione visiva e l'ottimizzazione della catena di fornitura, ottenendo una riduzione dell'85% dei difetti e un risparmio del 20% sui costi logistici.
- **CashKeeper:** IA applicata alla manutenzione predittiva, riducendo i guasti e i tempi di inattività del 75%.
- **Amazon:** integrazione dell'IA con Lean Six Sigma per ottimizzare i tempi di ciclo e ridurre gli errori nella catena logistica.
- **ZEISS Industrial Quality Solutions:** IA per l'ispezione predittiva, migliorando la coerenza e riducendo gli sprechi.

L'IA ha un impatto su aree critiche come la manutenzione, il controllo qualità e la logistica, offrendo vantaggi competitivi rispetto ai metodi tradizionali. Tuttavia, affinché queste tecnologie mantengano le loro promesse, è indispensabile una corretta implementazione, la formazione del personale e un approccio etico nel processo decisionale automatizzato.

Vantaggi strategici dell'IA nella produzione

- Riduzione dei costi operativi.
- Miglioramento continuo basato sull'analisi dei dati.
- Personalizzazione dei prodotti in base alle preferenze dei consumatori.
- Maggiore adattabilità ai cambiamenti del mercato.
- Aumento della sostenibilità operativa.

L'IA non è una soluzione isolata, ma uno strumento che, combinato con strategie di gestione e miglioramento continuo, può trasformare l'industria verso standard più elevati di qualità e sostenibilità, grazie a un'efficace integrazione con le metodologie Lean e Six Sigma.

Sfide tecniche ed etiche

L'implementazione dell'IA deve affrontare sfide quali:

- Scalabilità delle soluzioni.
- Integrazione con i sistemi legacy.
- Formazione del personale tecnico.
- Gestione dei dati sensibili.
- Processi decisionali automatizzati e loro implicazioni etiche [[Monsalves et al., 2025](#)].

Conclusioni

L'intelligenza artificiale si è affermata come un elemento chiave per garantire la qualità e l'efficienza nei sistemi produttivi. La sua integrazione con metodologie come Lean Manufacturing e Six Sigma consente non solo di ottimizzare i processi, ma anche di ridurre gli sprechi e la variabilità, ottenendo un miglioramento continuo basato sui dati. I grafici presentati evidenziano come l'IA abbia un impatto su aree critiche come la manutenzione, il controllo qualità e la logistica, offrendo vantaggi competitivi rispetto ai metodi tradizionali.

Tuttavia, affinché queste tecnologie mantengano le loro promesse, è indispensabile una corretta implementazione, la formazione del personale e un approccio etico nel processo decisionale automatizzato.

L'Intelligenza Artificiale rappresenta un'opportunità strategica per trasformare i sistemi di produzione. La sua corretta implementazione può portare a miglioramenti significativi in termini di qualità, efficienza e competitività. L'integrazione con metodologie come Lean Manufacturing e Six Sigma, specialmente quando guidata da professionisti Black Belt, consente di raggiungere livelli superiori di eccellenza operativa.

Tuttavia, è essenziale affrontare le sfide tecniche ed etiche per garantire uno sviluppo sostenibile e responsabile. L'ingegneria industriale deve guidare questa trasformazione attraverso la ricerca, l'innovazione e la formazione continua.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi.

Non hanno interessi finanziari o relazioni personali che potrebbero aver influenzato questo libro.

Contributo degli autori

Muñoz-Hernandez, Raquel: Ha contribuito all'idea del progetto, al metodo e alla tecnica di ricerca.

Ringraziamenti

Alle aziende che hanno risposto ai sondaggi.

Abbreviazioni

IA	Intelligenza artificiale
IoT	Internet delle cose [Internet of Things]

Riferimenti

Contesto

Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. [2018]. [Industrial AI: Applications with Sustainable Performance](#). Springer.

Russell, S., & Norvig, P. [2020]. [Artificial Intelligence: A Modern Approach](#). Pearson.

Base

IBM. [2025]. [Cómo se utiliza la IA en la fabricación](#).

McKinsey & Company. [2023]. [The State of AI in Manufacturing](#).

Mora Abarca, J. [2025]. [Mejora Continua 4.0: Inteligencia Artificial al Servicio de Six Sigma y la Excelencia Operacional](#).

Assistenza

Marín-Calderón, A. V., Valenzuela-Galván, M., Cuamea-Cruz, G., & Brau-Ávila, A. [2023]. [Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno](#). *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 24[1].

Reyes Sánchez, C. E., & Castillo Castillo, P. F. [2024]. [Optimización de procesos industriales mediante sistemas de inteligencia artificial: un enfoque basado en aprendizaje profundo](#). *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 4[2].

Monsalves, D., Olivares, P., Riquelme, F., & Cornide-Reyes, H. [2025]. [Inteligencia artificial como servicio: Potenciando la innovación y eficiencia en la industria y las metodologías ágiles](#). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 32.

Differenze

Peñalver-Higuera, M. J., & Isea-Argüelles, J. J. [2024]. [Transformación hacia fábricas inteligentes: El papel de la IA en la industria 4.0](#). *Ingenium et Potentia*, 6[10].

Mora Abarca, J. [2025]. [Mejora Continua 4.0: Inteligencia Artificial al Servicio de Six Sigma y la Excelencia Operacional](#). LinkedIn. [también puede ir en Básicos]

Discussioni

Monsalves, D., Olivares, P., Riquelme, F., & Cornide-Reyes, H. [2025]. [Inteligencia artificial como servicio: Potenciando la innovación y eficiencia en la industria y las metodologías ágiles](#)




McKinsey & Company. [2023]. [también puede ir en Básicos][featured-insights](#)




Prestazioni termiche dei dissipatori di calore commerciali utilizzati con i moduli Peltier: effetto della distanza tra le alette e della convezione

Desempeño térmico de disipadores de calor comerciales que usan modelos Peltier: efecto de espaciamiento y convección

Alvarado-Juárez, Roberto *^a, Rivera-Hernández, David Antonio^b, Guzmán-Cortes, Jhonatan Alberto^c e Rodríguez-Brito, Diana Isabel^d

^a  Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz •  E-5222-2013 •  0000-0002-4153-3626 •  438170

^b  Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz •  OJV-4587-2025 •  0009-0009-9285-3548

^c  Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz •  OJU-5336-2025 •  0009-0008-0406-0007

^d  Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz •  F-6231-2016 •  0000-0002-4214-143X •  171826

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.63.76>

Area: Ingegneria

Campo: Ingegneria

Disciplina: Ingegneria meccanica

Sottodisciplina: Ingegneria termica

Punti chiave del manuale

Il contributo principale riguarda il campo dell'ingegneria termica applicata ai dissipatori di calore. È stato analizzato l'effetto della spaziatura delle alette, l'effetto convettivo h e l'effetto radiativo, cosa che non è stata fatta in altri studi. Gli aspetti chiave da comprendere sono i meccanismi di trasferimento del calore (conduzione, convezione e radiazione). La comprensione delle condizioni al contorno realistiche nella simulazione che si avvicinano alle condizioni reali. Interpretazione e analisi numerica per la comprensione dei risultati. Si è osservato che nel dissipatore sul lato freddo non ci sono differenze significative nei risultati rispetto al numero di alette utilizzate. Nel dissipatore sul lato caldo è stata osservata un'influenza significativa sulle differenze di temperatura all'aumentare del coefficiente convettivo di trasferimento del calore. La temperatura diminuisce da 84,8 °C a 50,7 °C dalla base del dissipatore all'estremità delle alette.

Area: Rafforzamento della comunità scientifica

Citazione: Alvarado-Juárez, Roberto, Rivera-Hernández, David Antonio, Guzmán-Cortes, Jhonatan Alberto e Rodríguez-Brito, Diana Isabel. 2025. Prestazioni termiche dei dissipatori di calore commerciali utilizzati con i moduli Peltier: effetto della distanza tra le alette e della convezione. 63-76. PIREQA.

* ✉ [\[robertoalvaradoj@gmail.com\]](mailto:robertoalvaradoj@gmail.com)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



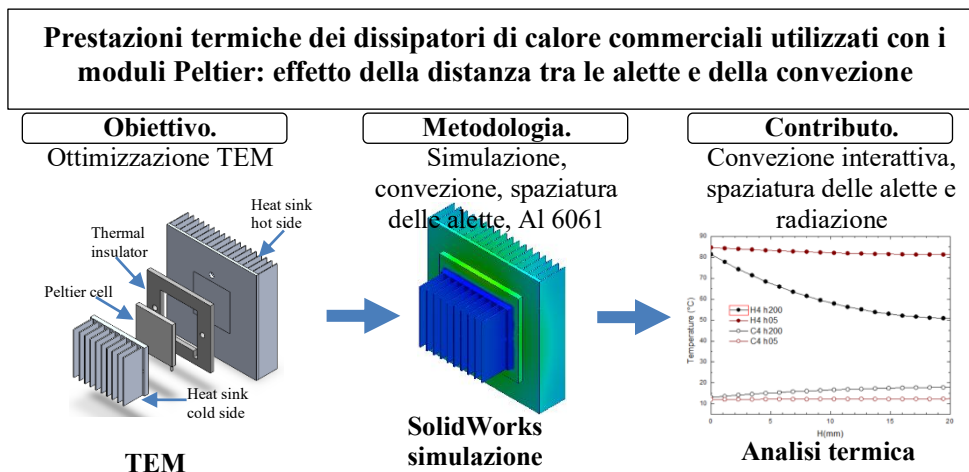
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

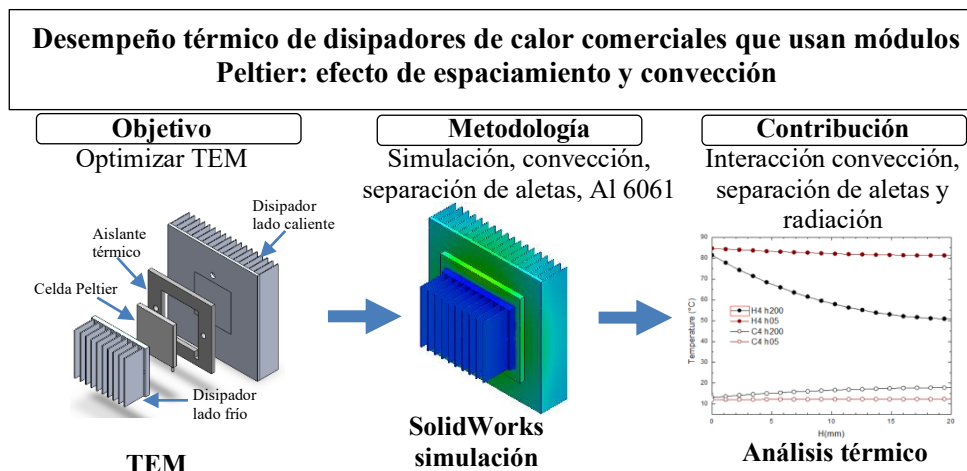
I moduli termoelettrici [TEM] sono ampiamente utilizzati per il raffreddamento dei dispositivi elettronici grazie alle loro dimensioni ridotte e al fatto che non producono rumore, oltre che perché non richiedono refrigeranti, rendendoli quindi ecologici. Per garantire l'efficienza dei TEM, è necessario controllare la temperatura sul lato caldo. Questa ricerca riporta la simulazione effettuata su un dissipatore di calore di un TEM commerciale con un modulo Peltier. L'analisi è stata effettuata sull'aletta centrale per 4 casi di separazione delle alette sul lato freddo e caldo [$p=5,08, 3,81, 2,54, 1,27$ mm] e 6 casi di trasferimento di calore per convezione [$h=5, 20, 50, 100, 150$ e 200 W/m²·K]. I risultati mostrano che il comportamento termico è simile per ogni separazione delle alette senza differenze significative di temperatura. Le differenze principali sono state osservate sul lato caldo, dove il caso $p=1,27$ mm e $h=200$ W/m²·K è l'opzione migliore per ridurre la temperatura del dissipatore di calore sul lato caldo di un TEM. Infine, la comprensione di come la geometria e la convezione influenzano la temperatura consente di prendere decisioni nella scelta del dissipatore di calore adeguato.



Dissipatore di calore, Modulo Peltier, Analisi termica, Spaziatura delle alette

Resumen

Los módulos termoelectrónicos [TEM] son ampliamente usados para el enfriamiento de dispositivos electrónicos debido a su tamaño y por ser silenciosos, también porque no requieren de un refrigerante por lo que son amigables con el medio ambiente. Para la eficiencia de un TEM es necesario controlar la temperatura del lado caliente. Este trabajo reporta la simulación hecha a un disipador de un TEM con celda Peltier. El análisis fue realizado en la aleta central para 4 casos de separación de aletas colocadas en el lado frío y en el lado caliente [$p=5.08, 3.81, 2.54, 1.27$ mm] y 6 casos de coeficiente convectivo de transferencia de calor [$h=5, 20, 50, 100, 150$ and 200 W/m²·K]. Los resultados muestran que el comportamiento térmico es similar para los casos de separación de aleta sin diferencia de temperatura significativas. Las principales diferencias se observaron en el lado caliente donde el caso de $p=1.27$ mm y $h=200$ W/[m²·K] es la mejor opción para disminuir la temperatura del disipador en la cara caliente del TEM. Por último, el entendimiento de como la geometría y la convección afectan la temperatura, permite tomar decisiones en la selección del adecuado disipador de calor.



Disipador de calor, Celda Peltier, Análisis térmico, Espaciamiento entre aletas

1. Introduzione

L'introduzione dei moduli termoelettrici [TEM] è avvenuta principalmente nel raffreddamento di dispositivi elettronici per l'esercito e la tecnologia militare. Negli ultimi dieci anni, l'attenzione si è spostata su altri settori, principalmente per il raffreddamento e la generazione di energia elettrica.

Un modulo Peltier è un TEM in grado di produrre una differenza di temperatura quando viene alimentato con corrente elettrica. Questo TEM è compatto, non richiede refrigeranti ed è quindi ecologico. Le celle Peltier per il raffreddamento hanno il vantaggio di poter essere utilizzate in dispositivi di piccole dimensioni e di produrre un rumore praticamente nullo [Hájovský et al., 2016].

Nonostante i grandi vantaggi, il modulo Peltier presenta ancora dei limiti: l'efficienza o il malfunzionamento di un TEM è correlato al sovraccarico o alla sollecitazione [Nasri et al., 2017]. A causa del comportamento termico della cella Peltier, vengono utilizzati dissipatori di calore per regolare la temperatura assorbendo o dissipando il calore da un fluido attraverso le alette estese [Korprasertsak e Leephakpreeda, 2017].

In molte situazioni in cui il trasferimento di calore avviene per convezione libera [basso trasferimento di calore convettivo], le alette sono la soluzione migliore grazie al loro costo ridotto e al funzionamento senza problemi. Il peso e le dimensioni delle apparecchiature sono i parametri più importanti della progettazione [Shate e Sanap, 2019].

1.1 Rilevanza e applicazione tecnologica

La maggior parte dei processi di raffreddamento convenzionali utilizza ammoniaca, freon o altri refrigeranti che vengono rilasciati nell'atmosfera. Un'alternativa adeguata che non richiede queste sostanze è l'uso di moduli termoelettrici. Un altro vantaggio che li ha resi attraenti per le applicazioni elettroniche è la loro dimensione ridotta, ideale per diverse applicazioni. In termini di manutenzione, un TEM richiede un'attenzione minima poiché non ha parti mobili. Tuttavia, il problema principale di questo dispositivo è la sua prestazione di raffreddamento rispetto ai sistemi di raffreddamento tradizionali.

I vantaggi del TEM non sono solo legati al fatto che è ecologico, ma anche alla sua versatile applicazione per l'uomo, come il generatore termoelettrico, un dispositivo che trasforma il calore in energia elettrica, nelle automobili come un dispositivo di raffreddamento, dissipando l'energia dai dispositivi elettronici, nei frigoriferi termoelettrici, nelle applicazioni mediche per il raffreddamento dei medicinali, tra le altre applicazioni [Kudva et al., 2020 e Shilpa et al., 2022].

L'ampia gamma di applicazioni del TEM ha portato il mercato globale a crescere da 7 miliardi di dollari nel 2019 a circa 13,5 miliardi di dollari nel 2025, con una proiezione di 20 miliardi di dollari entro il 2029. La domanda in maggiore crescita si registra nel settore delle comunicazioni e dell'elettronica di consumo [Li et al., 2024]. Questa crescente domanda evidenzia l'importanza di sviluppare TEM efficienti, compatti ed ecologici, di conseguenza, la ricerca sui TEM per i sistemi di raffreddamento ha suscitato enorme interesse.

1.2 Stato dell'arte

Diversi studi indagano come migliorare la dissipazione del calore. Alcuni studi riguardano l'effetto dello spazio tra le alette, l'altezza, lo spessore, la disposizione delle alette, ecc.

Ventola et al. [2016] hanno studiato un modello termico di un dissipatore di calore a piastre alettate che può avere un'ampia applicazione. Gli autori hanno condotto studi sperimentali su un dissipatore di calore commerciale mostrato nella tabella 1. Le velocità studiate vanno da 5,6 a 13,9 m/s [Re=528-2481]. Gli autori hanno proposto una metodologia basata su algoritmi genetici per la selezione di parametri efficaci che possono essere trasferibili ad altri problemi termici. Lo studio menziona una possibile riduzione del volume del materiale fino al 53%.

Abdelmohimen et al. [2021] hanno condotto un'indagine numerica su diverse disposizioni delle alette su un dissipatore di calore a piastre alettate. Per lo studio, gli autori hanno tagliato le alette in più parti per migliorare le prestazioni del dissipatore di calore. Le dimensioni del caso di base sono riportate nella Tabella 1. Il numero di Reynolds studiato variava da 1333 a 5334.

Gli autori hanno concluso che il flusso parallelo riduce la resistenza termica. Una maggiore riduzione della resistenza termica si ottiene nel caso di tre scivoli, mentre l'uso di scivoli con flusso parallelo non fornisce il miglioramento richiesto della resistenza termica.

Al-Luhaibi e Nazzal [2023] studiano il trasferimento di calore nelle alette del dissipatore di calore solide e perforate. L'obiettivo era quello di collocare perforazioni strategiche per aumentare l'area senza aumentare le dimensioni del dissipatore di calore. Il trasferimento di calore può essere migliorato con fori nelle alette, poiché i fori aumentano la turbolenza. Inoltre, l'efficienza delle alette aumenta con il loro diametro. Il peso è stato ridotto fino al 7,03% rispetto a un dissipatore di calore solido. I parametri del dissipatore di calore sono riportati nella Tabella 1.

Rodríguez-Muñoz et al. [2023] analizzano il comportamento termico di un microchip per computer utilizzando il software Solid-Works. Il confronto è stato effettuato con alette rettangolari, quadrate, triangolari, paraboliche e circolari in lega di alluminio Al-6061. Gli autori hanno riscontrato che le alette rettangolari hanno un comportamento termico migliore rispetto a quelle quadrate e che la configurazione migliore è quella delle alette circolari, poiché presentano una zona di riscaldamento minore e una differenza di temperatura minore tra le zone con temperatura più alta e quelle con temperatura più bassa. I parametri del dissipatore di calore sono riportati nella Tabella 1.

Alomía [2025] ha simulato un dissipatore termico per migliorare il trasferimento di calore per applicazioni elettroniche. Sono state analizzate due configurazioni di alette e materiali. I casi analizzati riguardavano l'alluminio 6061-T6 e 1050. Per la simulazione è stato utilizzato Ansys. Dai risultati è stata ottenuta una resistenza termica di 3,35 °C/W e 2,84 °C/W rispettivamente per l'alluminio 6061-T6 e 1050. Il COP calcolato era 0,298. I risultati hanno mostrato che l'alluminio 6061-T6 ha prestazioni termiche migliori grazie alla conducibilità termica e alla resistenza meccanica. I parametri del dissipatore di calore sono riportati nella Tabella 1.

Pupcevic et al. [2025] hanno condotto uno studio sperimentale su uno scambiatore di calore utilizzato negli elementi Peltier. Lo studio è stato condotto in condizioni naturali. La temperatura massima raggiunta è stata di 90 °C per una potenza elettrica di 9,026 W e 10 °C all'esterno. Gli autori hanno riportato che la distanza ottimale tra le alette è di 5,26 mm. I parametri del dissipatore di calore sono riportati nella Tabella 1.

La Tabella 1 mostra le dimensioni del dissipatore commerciale utilizzato dagli autori riportato nella revisione della letteratura.

Scatola 1

Tabella 1

Parametri geometrici in mm

Caso	L	W	tb	N	H	t	P
Ventola et al. [2016]	21.8	41.4	8.4	14	21.8	1.0	2.1
Abdelmohimen et al. [2021]	40.0	39.7	5.0	10	20.0	1.0	3.3
Al-Luhaibi and Nazzal [2023]	100.0	55.0	12.0	8	28.0	1.0	2.5
Rodríguez-Muñoz et al. [2023]	32.0	52.0	2.0	11	20.0	2.0	3.0
Alomía [2025]	50.0	50.0	3.0	17	25.0	0.8	2.0
Pupcevic et al. [2025]	40.0	40.0	--	15	25.1	1.2	1.5

Fonte [elaborazione propria]

I parametri del dissipatore di calore sono riportati nella Tabella 1 in base alla Figura 1, dove è indicato ogni elemento. Questi parametri sono gli stessi sia per il dissipatore di calore sul lato freddo che su quello caldo.

Sebbene siano stati compiuti vari sforzi per migliorare l'efficienza del TEM, le informazioni su come lo spazio tra le alette e il trasferimento di calore convettivo interagiscono simultaneamente sono ancora limitate e, inoltre, questi studi non considerano l'effetto dello scambio di calore radiativo.

L'obiettivo principale di questo studio è analizzare le prestazioni termiche di un TEM commerciale con un modulo Peltier. L'analisi prende in considerazione 4 casi di separazione delle alette sul lato freddo e caldo e 6 casi di trasferimento di calore convettivo, nonché il trasferimento di calore radiativo nella superficie. Con quanto sopra, si cerca di identificare la configurazione migliore per le prestazioni del TEM in diverse condizioni di convezione.

Scatola 2

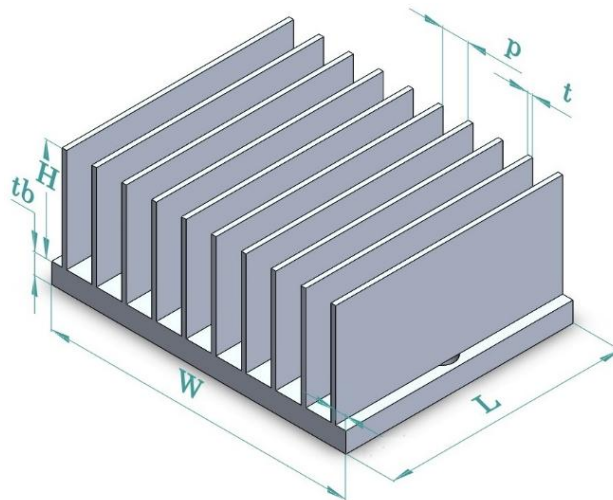


Figura 1

Parametri di un dissipatore di calore

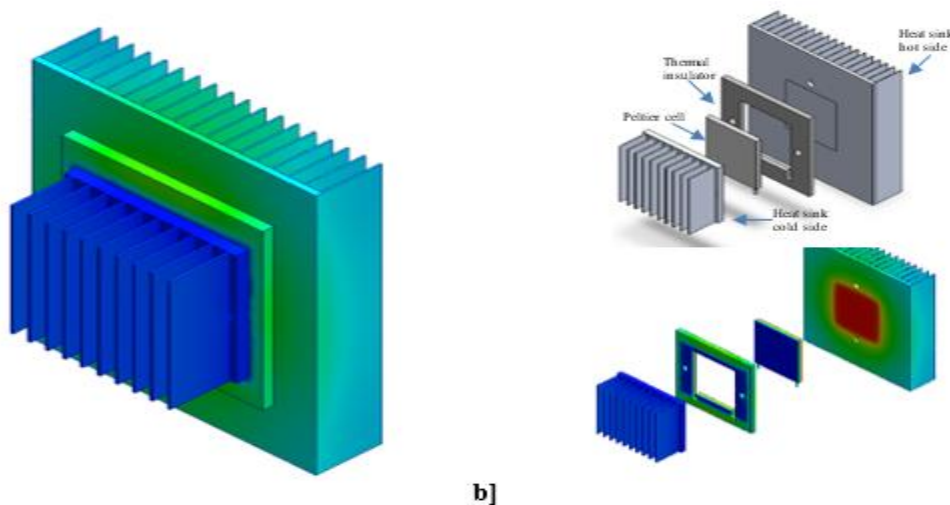
Fonte [elaborazione propria]

2. Materiali e metodi

2.1 Modulo termoelettrico commerciale

Il TEM analizzato si basa su un modello commerciale in alluminio comunemente utilizzato nelle applicazioni termoelettriche, come mostrato nella Figura 2. Il TEM ha un dissipatore di calore in lega di alluminio sul lato freddo con una base di 60 mm × 46 mm, un isolamento termico di 69 mm × 64 mm × 5 mm, una cella Peltier con dimensioni di 40 mm × 40 mm × 4 mm e un dissipatore di calore in lega di alluminio sul lato caldo con una base di 100 mm × 100 mm. Il design include alette parallele distribuite lungo la piastra di base. L'altezza del dissipatore di calore è $H=20,83$ mm per il lato freddo e $H=20,57$ mm per il lato caldo. La figura 2 mostra la configurazione del TEM analizzato. Sul lato sinistro a) il TEM è contratto e sul lato destro b) è espanso con i quattro elementi del TEM

Scatola 3



a]

b]

Figure 2

Progettazione del TEM analizzato

Fonte [elaborazione propria]

2.2 Configurazione geometrica

I parametri del dissipatore di calore considerati in questo studio sono riportati nella Tabella 2. Sono stati analizzati quattro spazi tra le alette [valori di p nella Tabella 2] e l'altezza è stata mantenuta costante. Il numero di alette è regolato in base alla distanza tra le alette. Il caso C [C] si riferisce al lato freddo, il caso H [H] al lato caldo, mentre 1, 2, 3 e 4 si riferiscono a ciascun caso di p.

Scatola 4

Tabella 2

Parametri geometrici in mm

Side	L	W	tb	N	H	T	P
C1	46	60	4.06	10	20.83	0.94	5.08
C2				13			3.81
C3				17			2.54
C4				27			1.27
H1	100	100	2.29	17	20.57	0.94	5.08
H2				21			3.81
H3				28			2.54
H4				44			1.27

Fonte [elaborazione propria]

2.3 Materiali

Il modulo Peltier ha considerato temperature di $T_h=85\text{ °C}$ e $T_c=12\text{ °C}$ rispettivamente sul lato caldo e freddo. Il dissipatore di calore è realizzato in alluminio [Al 6061] con una conducibilità termica di $k=205\text{ W/[mK]}$, una densità di 2700 kg/m^3 e una capacità termica specifica di 896 J/kgK . Il dissipatore di calore in lega di alluminio perde energia per convezione e irraggiamento nell'ambiente a una temperatura di $T_\infty=25\text{ °C}$.

L'emissività considerata era 0,85 in base alle proprietà della superficie dell'alluminio riportate da Cengel & Ghajar [2011] con un fattore di vista di 0,5 dovuto alla configurazione dell'aletta parallela, il che significa che, sebbene gli studi riportino una bassa influenza del trasferimento di calore per irraggiamento, si è ritenuto opportuno effettuare una simulazione più realistica. I coefficienti di trasferimento di calore per convezione considerati sono stati 5, 20, 50, 100, 150 e $200\text{ W/m}^2\text{ K}$, ovvero dalla convezione naturale alla convezione forzata. Una resistenza termica distribuita per contatto tra la cella Peltier e l'isolamento termico e i dissipatori di calore di $5 \times 10^{-6}\text{ Km}^2/\text{W}$.

2.4 Modello matematico

Il modello matematico utilizzato in questo studio si basa sull'equazione energetica in condizioni stazionarie del trasferimento di calore per conduzione nel dominio solido. Questo è accoppiato con la convezione e la radiazione attraverso le superfici dei confini. L'equazione che governa la temperatura T è espressa come [Çengel & Ghajar, 2011 e Bergman et al., 2011]:

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q} = 0 \quad [1]$$

Dove k è la conducibilità termica [W/mK] ed è la generazione di calore volumetrico [W/m³]. Poiché il dissipatore di calore non include una fonte interna, allora .

Il trasferimento di calore per convezione e irraggiamento al confine è dato rispettivamente dalle equazioni [2] e [3]:

$$\dot{q}_{\text{convezione}} = h(T_s - T_\infty) \quad [2]$$

$$\dot{q}_{\text{radiazione}} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_\infty^4) \quad [3]$$

Dove h è il coefficiente di trasferimento di calore convettivo [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] che vanno dalla convezione naturale [$5 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] alla convezione forzata [$200 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$], T_s è la temperatura superficiale, T_∞ è la temperatura del fluido [aria], ϵ è l'emissività della superficie [è stata considerata per questo studio $\epsilon=0.85$], σ è la costante di Stefan-Boltzmann [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]. Sono state considerate proprietà termofisiche costanti.

2.5 Configurazione numerica e condizioni al contorno

La simulazione termica in condizioni stazionarie è stata eseguita utilizzando il software Solid Works. Le equazioni che governano il sistema sono state risolte con il metodo degli elementi finiti, in cui l'equazione discretizzata è stata approssimata in ciascun elemento della griglia. L'indipendenza della mesh è stata verificata raffinando la griglia fino a ottenere una differenza di temperatura inferiore all'1%. Per le condizioni al contorno, è stata considerata una temperatura fissa nelle facce della cella Peltier [$T_h=85^\circ\text{C}$ e $T_c=12^\circ\text{C}$] e perdite di calore convettive e radiative nell'ambiente alla temperatura di $T_\infty=25^\circ\text{C}$ con variazione del trasferimento di calore convettivo. È stata utilizzata una griglia standard fine con una tolleranza di 0,125 mm con 16 punti jacobiani; il caso con C1 e H1 ha utilizzato 76.001 elementi con 146.676 nodi e per il caso C4 e H4 sono stati utilizzati 170.438 elementi con 334.290 nodi. Gli elementi erano di ordine elevato. La figura 3 mostra la griglia per il caso C4 e H4.

Scatola 5

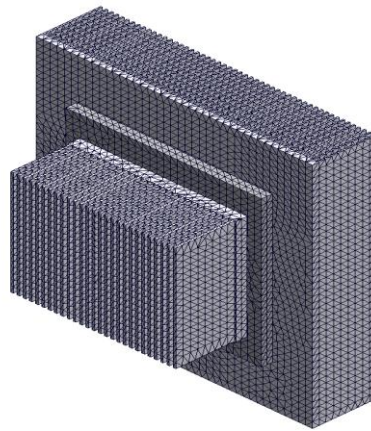


Figura 3

Griglia utilizzata nel caso di C4 H4 per l'analisi termica.

Ogni configurazione è stata simulata nelle stesse condizioni per garantire un confronto coerente. I risultati ottenuti sono stati la distribuzione della temperatura e il gradiente di temperatura lungo la lunghezza delle alette sia sul lato caldo che su quello freddo.

I risultati sono stati analizzati per identificare in che modo lo spazio tra le alette e il trasferimento di calore convettivo influenzano il raffreddamento del dissipatore di calore del TEM.

3. Risultati e discussione

In questa sezione vengono presentati i risultati della simulazione numerica. Questi risultati sono importanti perché forniscono informazioni dettagliate sulla temperatura nelle alette del dissipatore di calore e, con i profili di temperatura, determinano quale sia la migliore configurazione studiata. La temperatura è stata calcolata nell'aletta centrale di ciascun dissipatore di calore per entrambi i lati [caldo e freddo] del TEM.

3.1 Effetto della spaziatura sul lato freddo

La figura 4 mostra la temperatura su un'aletta centrale del dissipatore di calore nella faccia fredda per $h=5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ e i quattro casi di p . La temperatura aumenta allontanandosi dalla base del dissipatore di calore. Comportamento simile. Si osserva un gradiente di temperatura simile quando il trasferimento di calore per convezione naturale è presente in ciascun caso di C .

La differenza massima di temperatura presentata era $DT=0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ in ciascun caso.

Come si osserva, nel lato freddo domina il trasferimento di calore per conduzione, quindi la geometria del dissipatore di calore ha un'influenza trascurabile.

Scatola 6

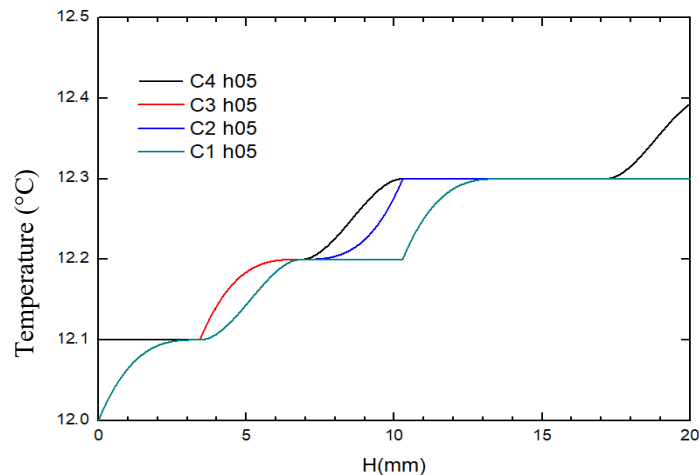


Figura 4

Profilo di temperatura per il caso di $h=5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e i quattro casi di p sul lato freddo del TEM.

La figura 5 mostra la distribuzione della temperatura sul lato caldo del dissipatore di calore per diversi casi di coefficiente di trasferimento di calore convettivo. All'aumentare del trasferimento di calore convettivo a $200 \text{ W/m}^2\text{K}$, la temperatura nel dissipatore di calore sul lato freddo aumenta da $12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $17,8 \text{ }^\circ\text{C}$, ovvero si verifica un gradiente di temperatura maggiore lungo l'aletta, in particolare vicino alla punta. Confrontando il comportamento termico di C2 rispetto a C1, C3 rispetto a C2 e C4 rispetto a C3, la temperatura media in ciascun caso è rispettivamente $0,2$, $0,1$ e $0,1$.

La temperatura media tra C4 e C1 è $DT=0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ e la differenza di temperatura massima tra il caso C4 e C1 è stata di $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sul lato freddo, il dissipatore di calore assorbe energia dall'ambiente. È chiaro che nei casi di convezione naturale la selezione di N non influisce sul comportamento termico del dissipatore di calore, con la conseguente possibilità che si verifichino condensazione e brina a bassa temperatura.

Nonostante l'aumento del trasferimento di calore convettivo a $200 \text{ W/m}^2\text{K}$, non vi è un gradiente di temperatura significativo tra i casi C1, C2, C3 e C4. La differenza principale è l'energia acquisita all'estremità dell'aletta. Questa energia riscalda le alette e può evitare la formazione di brina.

Scatola 7

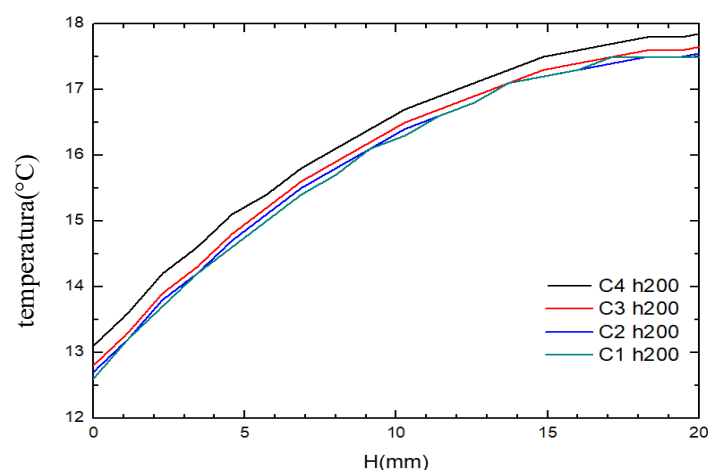


Figura 5

Profilo di temperatura per il caso di $h=200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e i quattro casi di p sul lato freddo del TEM.

3.2 Effetto della spaziatura sul lato caldo

Per il lato caldo di un TEM, la Figura 6 confronta la temperatura in funzione della distanza tra le alette [da H1 a H4]. La figura mostra il comportamento termico dell'aletta centrale per $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Come si può osservare, allontanandosi dalla base del dissipatore di calore, la temperatura diminuisce fino a $81,2 \text{ }^\circ\text{C}$, con una riduzione di $3,8 \text{ }^\circ\text{C}$ nel caso della convezione naturale. All'aumentare del numero di alette, la temperatura diminuisce fino a $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ nel caso di H4 rispetto a H1. Nonostante la riduzione della temperatura, tale diminuzione non è significativa.

Rispetto al lato freddo, si osserva un gradiente di temperatura più elevato tra la base e la punta dell'aletta a causa del gradiente di temperatura con l'aria. Il gradiente di temperatura più elevato favorisce la massima interazione del trasferimento di calore con le alette.

Scatola 8

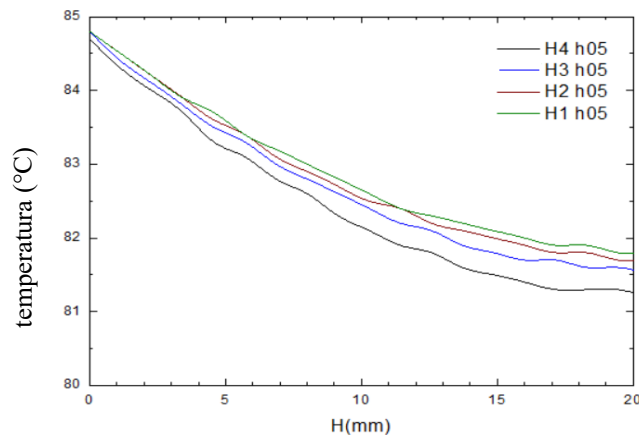


Figura 6

Profilo di temperatura per il caso di $h=5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e i quattro casi di p sul lato caldo del TEM.

Fonte [elaborazione propria]

La figura 7 mostra il comportamento termico dell'aletta centrale per $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$ e le quattro configurazioni considerate. Si osserva che la temperatura diminuisce tra la base e la punta delle alette. Inoltre, si registra un aumento quando la distanza tra le alette si riduce fino a $p=1,27 \text{ mm}$.

Analogamente alla figura 5, si osserva una diminuzione della temperatura da $81,4 \text{ }^\circ\text{C}$ a $51,5 \text{ }^\circ\text{C}$ nel caso di H4 [$\Delta T=29,9 \text{ }^\circ\text{C}$]. La differenza di temperatura massima tra C1 e C4 è di $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Si osserva che l'effetto della geometria è quasi trascurabile, tranne nel caso di H4, indicando che un aumento del numero di alette per la convezione forzata aumenta il trasferimento di calore convettivo nel trasferimento di calore complessivo.

Scatola 9

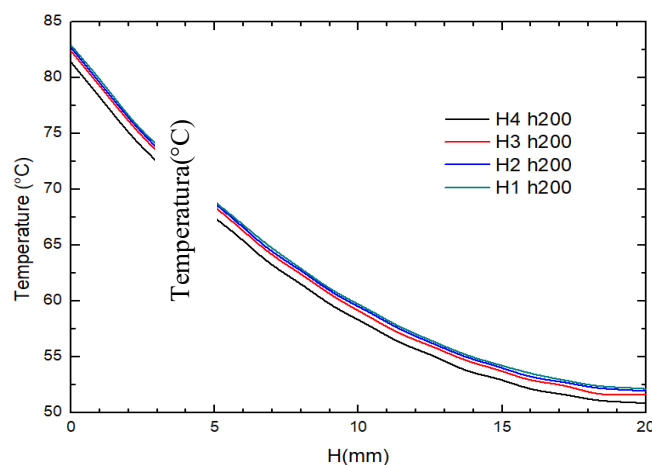


Figura 7

Profilo di temperatura per il caso di $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$ e i quattro casi di p sul lato caldo del TEM.

3.3 Effetto del coefficiente di trasferimento termico convettivo sul lato freddo

La figura 8 mostra il comportamento termico del dissipatore di calore situato sul lato freddo. I valori sono stati ottenuti sulla aletta centrale per i casi C1 e C4, con trasferimento di calore convettivo da $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$. Si osserva che per la convezione naturale, $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$, non vi sono gradienti di temperatura significativi [$DT \gg 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$], come mostrato nella Figura 3. In questo caso, il trasferimento di calore per conduzione prevale su quello per convezione. All'aumentare di h , la temperatura aumenta all'estremità dell'aletta.

I casi con alette più alte perdono più energia rispetto a quelli con alette più basse, tuttavia la differenza di temperatura massima era di $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ per $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$ per C4 rispetto a C1. Quindi, N non ha un effetto significativo sul lato freddo.

Scatola 10

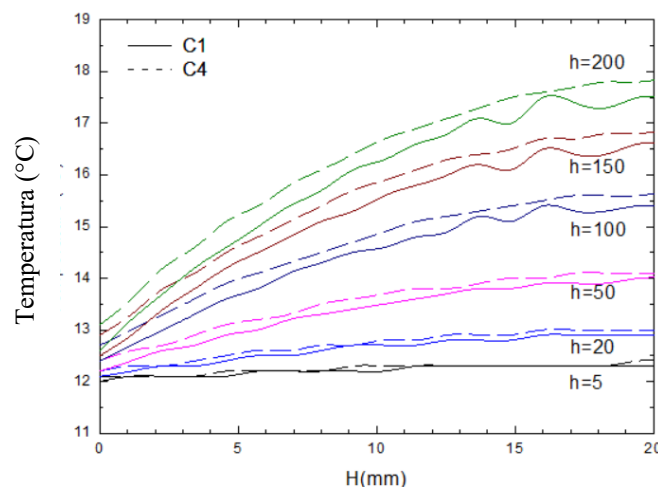


Figura 8

Profilo della temperatura sul lato freddo per i casi C1 e C4 con la variazione del trasferimento di calore convettivo.

Fonte [elaborazione propria]

3.4 Effetto del coefficiente di trasferimento termico convettivo sul lato caldo

D'altra parte, la Figura 9 mostra il comportamento termico del dissipatore di calore situato sul lato caldo per i casi H1 e H4 a diversi valori di h . All'aumentare di h , la temperatura diminuisce in modo non lineare all'estremità dell'aletta. I casi con un numero maggiore di alette acquisiscono più energia dalla temperatura ambiente rispetto ai casi con meno alette; la differenza di temperatura massima era di $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ per $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$ per H4 rispetto a H1.

Con l'aumento di h , la temperatura all'estremità delle alette può diminuire di 3° per $h=5 \text{ W/m}^2\text{K}$, rispetto alla temperatura e alla base del dissipatore di calore, e per $h=200 \text{ W/m}^2\text{K}$ questa temperatura si riduce fino a $30,9^\circ\text{C}$. Inoltre, si osserva che per valori elevati di h la curva diventa più ripida, il che si riflette in un tasso di trasferimento di calore più elevato.

3.5 Discussione

L'analisi termica su TEM fornisce informazioni importanti relative all'effetto della distanza tra le alette e al trasferimento di calore convettivo sulle prestazioni complessive del sistema.

Per il lato caldo, i risultati mostrano che per la convezione naturale [$h \leq 20 \text{ W/m}^2\text{K}$] la distribuzione della temperatura lungo l'aletta è quasi uniforme confrontando ciascuna configurazione [$DT=0,5 \text{ }^\circ\text{C}$], in questo caso la conduzione domina il meccanismo di trasporto del trasferimento di calore.

Quando il trasferimento di calore convettivo aumenta [$h \geq 100 \text{ W/m}^2\text{K}$], l'effetto dello spazio dell'aletta è significativo e si ottiene la temperatura più bassa, nel caso di $p=1,28 \text{ mm}$ [H4], a causa dell'aumento dell'area di trasferimento del calore che favorisce il trasferimento di calore per convezione. Ciò è coerente con la relazione di Abdelmohimen et al. [2021] e Ventola et al. [2016].

Scatola 11

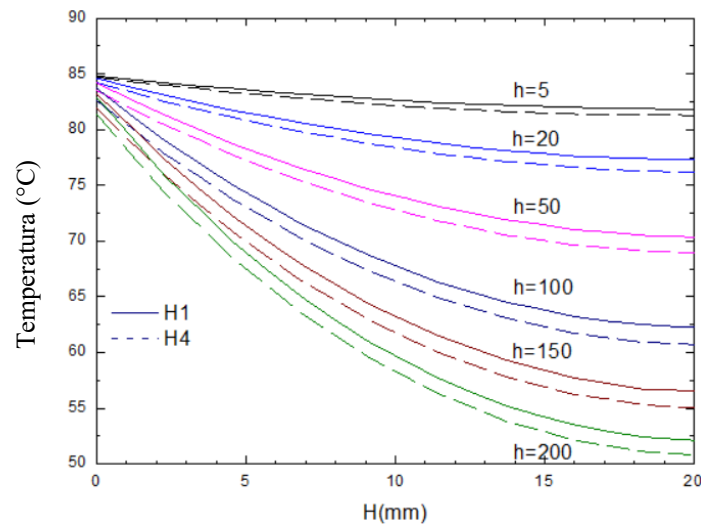


Figura 9

Profilo della temperatura sul lato caldo per i casi C1 e C4 con la variazione del trasferimento di calore convettivo.

Fonte [elaborazione propria]

Tuttavia, sul lato freddo questo effetto è meno visibile, la variazione di temperatura tra la base dell'aletta e le estremità dell'aletta è di $0,5\text{ °C}$ indipendentemente dallo spazio minimo o massimo tra le alette, quindi l'aumento del numero di alette non contribuisce al raffreddamento, in accordo con [Pupcevic et al. \[2025\]](#).

In conclusione, l'ottimizzazione del TEM deve concentrarsi sull'aumento del numero di alette sul lato caldo del TEM.

4. Conclusione

Questo studio ha presentato l'analisi termica nel dissipatore di calore utilizzato nel TEM commerciale. Sono stati considerati quattro casi di separazione delle alette sul lato freddo e sul lato caldo [$p=5,08, 3,81, 2,54, 1,27\text{ mm}$]. Per il caso del trasferimento di calore convettivo, sono stati considerati 6 casi [$h=5, 20, 50, 100, 150\text{ e }200\text{ W/m}^2\text{K}$].

La simulazione è stata effettuata con Solid Works. L'analisi termica è stata effettuata sull'aletta centrale.

Dall'analisi è emerso che:

1. Sul lato freddo del TEM, per $h=5\text{ W/m}^2\text{K}$, non vi è una differenza significativa con il numero di alette utilizzate, la differenza massima di temperatura era di $0,3\text{ °C}$.
2. Sul lato freddo per $h=200\text{ W/m}^2\text{K}$, il C4 può aumentare la temperatura del dissipatore di calore perché ha una superficie di trasferimento del calore maggiore.
3. Sul lato caldo, la temperatura diminuisce all'aumentare del numero di alette di $0,6\text{ °C}$ per $h=5\text{ W/m}^2\text{K}$. La temperatura diminuisce da $84,8\text{ °C}$ alla base del dissipatore di calore a $81,2\text{ °C}$ all'estremità dell'aletta.
4. Quando $h=200\text{ W/m}^2\text{K}$, la temperatura diminuisce da $82,4\text{ °C}$ a $50,7\text{ °C}$ all'estremità dell'aletta.
5. La scelta del dissipatore di calore sul lato freddo dipende dall'applicazione per selezionare il numero adeguato di alette.

Per il lato caldo, si consiglia un dissipatore di calore con 44 alette.

I risultati sono in accordo con gli studi riportati in letteratura, quindi la geometria e il trasferimento di calore convettivo giocano un ruolo importante nella dissipazione del calore sul lato caldo, in contrasto con il lato freddo che rimane quasi alla stessa temperatura.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari concorrenti noti o relazioni personali che potrebbero aver influenzato l'articolo riportato in questo articolo.

Contributo degli autori

Alvarado-Juárez, Roberto: ha contribuito con l'idea principale, l'analisi dei dati e la trascrizione.

Rivera-Hernández, David Antonio: ha contribuito con lo studio di simulazione e la progettazione.

Guzmán-Cortes, Jhonatan Alberto: ha contribuito con lo studio di simulazione e la progettazione.

Rodríguez-Brito, Diana Isabel: ha contribuito alla revisione delle informazioni e all'analisi dei dati.

Disponibilità di dati e materiali

I dati ottenuti in questo studio sono disponibili su richiesta all'autore corrispondente.

Finanziamenti

La ricerca non ha ricevuto alcun finanziamento.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz per le strutture messe a disposizione per lo sviluppo di questo studio.

ABBREVIAZIONI

A	Superficie [m ²]
Case C	Lato freddo del case
Case H	Lato caldo del case
H	Distanza tra le alette [mm]
h	Coefficiente di trasferimento termico convettivo [W/m ² K]
	Conducibilità termica [W/mK]
k	Lunghezza delle alette [mm]
L	Numero di alette
N	Trasferimento termico convettivo [W/m ²]
$\dot{q}_{\text{convezione}}$	Trasferimento termico radiante [W/m ²]
$\dot{q}_{\text{radiazione}}$	Altezza delle alette [mm]
p	Spessore delle alette [mm]
t	Spessore della piastra di base [mm]
tb	Temperatura fredda [°C]
T _c	Temperatura calda [°C]
T _h	Temperatura superficiale [°C]
T _s	Temperatura ambiente [°C]
T _∞	Modulo termoelettrico
TEM	Larghezza della piastra di base [mm]
W	Emissività
ε	Operatore differenziale [Nabla]
∇	Costante di Stefan-Boltzmann
σ	[5.6707×10 ⁻⁸ W/m ² ·K ⁴]

Riferimenti

Contesto

Hájovský, R., Pieš, M., & Richtár, L. [2016]. [Analysis of the appropriateness of the use of Peltier cells as energy sources](#). *Sensors*, 16[6], 760.

Nasri, W., Djebali, R., Dhaoui, S., Abboudi, S., & Kharroubi, H. [2017]. [Finite elements multiphysics investigation of thermoelectric systems for electricity and cooling generation](#). *International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering* 3[4], 1-13.

Korprasertsak, N., & Leephakpreeda, T. [2016]. [Mathematical modeling and validation of cooling/heating effects in thermoelectric module coupled with heat sinks](#). *7th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering [ICMAE]*, London, UK, pp. 95-99

Shate, A. & Sanap, S. [2019]. [Augmentation of thermal performance of plate fin heat sink](#). *International Journal of Engineering and Advanced Technology* 8 [6S], 1087-1094.

Nozioni di base

Al-Luhaibi, R.A., & Nazzal, I.T. [2023]. [Investigation of heat sinks with different perforation patterns](#). *International Journal of Heat and Technology*, 41[5], 1195-1204.

Alomía-Sandoval, S. D. [2025]. [Diseño y simulación de la configuración de aletas para el proceso de disipación de calor mediante software especializado](#) [Master thesis, Universidad Politécnica Salesiana]. Institutional repository.

Kudva, N., Veerasha, R.K. & Muralidhara, [2020]. [A review on thermoelectric \[Peltier\] module](#). *International Journal of Progressive Research in Science and Engineering* 1[4] 212-216.

Li, C., Luo, Y., Li, W., Yang, B., Sun, C., Ma, W., Ma, Z., Wei, Y., Li, X. & Yans., J. [2024]. [The on-chip thermoelectric cooler: advances, applications and challenges](#). *Chip* 3[2] 100096.

Shilpa, M.K., Abdul Raheman, M., Aabid, A., Baig, M., Veerasha, R.K. et al. [2023]. [A Systematic Review of Thermoelectric Peltier Devices: Applications and Limitations](#). *Fluid Dynamics & Materials Processing*, 19[1], 187–206.

Supporti

Çengel, Y.A. & Ghajar, A.J. [2011], [Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications](#) [4a ed.]. McGraw-Hill Higher Education.

Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P. & Dewitt, D.P. [2011]. [Fundamentals of Heat and Mass Transfer](#). Wiley.

Differenze

Rodríguez Muñoz, J. L., Peña Hernández, L. A., Pacheco Cedeño, J. S., Ramírez Minguela, J. de J., & Balcázar García, J. G. [2023]. [Análisis térmico de disipadores de calor en SolidWorks empleando diferentes configuraciones de aletas](#). *Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 10[20], 47–55.

Discussioni

Ventola, L., Curcuruto, G., Fasano, M., Fotia, S., Pugliese, V., Chiavazzo, E., & Asinari, P. [2016]. [Unshrouded plate fin heat sinks for electronics cooling: validation of a comprehensive thermal model and cost optimization in semi-active configuration](#). *Energies*. 9 [8], 608.





Abdelmohimen, M.A.H., Almutairi, K., Elkotb, M.A., Abdelrahman, H.E., & Algarni, S. [2021]. Numerical investigation of using different arrangement of fin slides on the plate-fin heat sink performance. *Thermal Science*. 5[6], 4683-4693.

Pupcevic, M.B., Gvero, P., Zeljkovic, C., Kotur, M., Mrsic, P., & Tesic, S. [2025]. Optimization and experimental validation of a natural convection space heater using the Peltier elements. *Thermal Science*. 29[3], 2141-2153.

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nello sviluppo dei sistemi informativi nelle aziende it, vantaggi e sfide giuridiche: una prospettiva Costa Ricana

Uso de inteligencia artificial en el desarrollo de sistemas de información en empresas de ti, beneficios y retos legales: una perspectiva Costarricense

Echandi-Pacheco, Rodolfo * ^a

^a  Universidad Fidélitas •  LIF-3425-2024 •  0000-0001-6807-0679 •  2068727

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.77.88>

Area: Ingegneria

Campo: Scienze tecnologiche

Disciplina: Tecnologia informatica

Sottodisciplina: Intelligenza artificiale

Punti chiave del manuale

La ricerca esamina come l'intelligenza artificiale [IA] stia cambiando la tecnologia e il mondo degli affari in Costa Rica. Tra i suoi principali contributi vi è la descrizione di come l'IA promuova l'efficienza, il processo decisionale e l'automazione dei processi, rafforzando la competitività del settore tecnologico in Costa Rica. Per applicare i risultati di questa ricerca alla generazione di conoscenza, è molto importante comprendere le regole etiche, legali e sociali dell'uso dell'IA; allo stesso modo, sono necessarie leggi che consentano l'innovazione, ma che proteggano anche le persone e la loro privacy. Inoltre, è fondamentale che gli esperti di tecnologia, diritto e gestione lavorino insieme. Infine, l'intelligenza artificiale promuove l'efficienza e l'innovazione aziendale, ma richiede quadri normativi chiari, formazione continua e un'implementazione strategica e responsabile.

Area: Promozione della ricerca di frontiera e della scienza di base in tutti i campi del sapere.

Citazione: Echandi-Pacheco, Rodolfo. 2025. L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nello sviluppo dei sistemi informativi nelle aziende it, vantaggi e sfide giuridiche: una prospettiva Costa Ricana. 77-88. PIREQA.

* ✉ [\[rechandi60580@ufide.ac.cr\]](mailto:rechandi60580@ufide.ac.cr)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



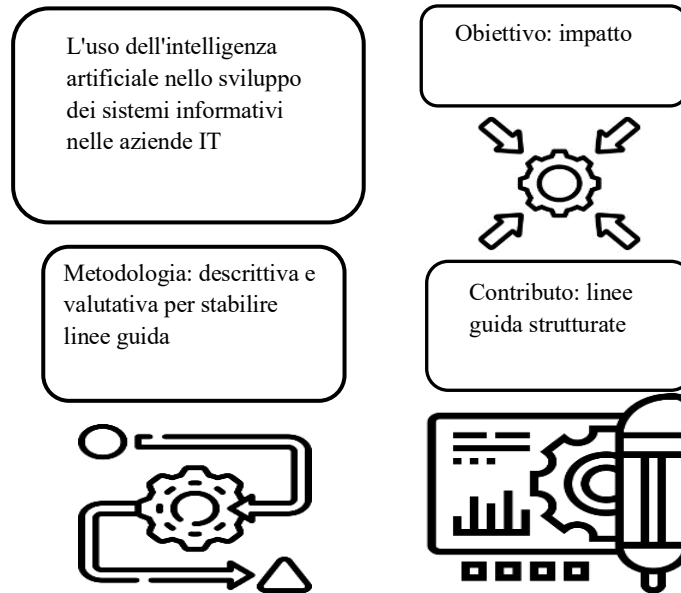
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

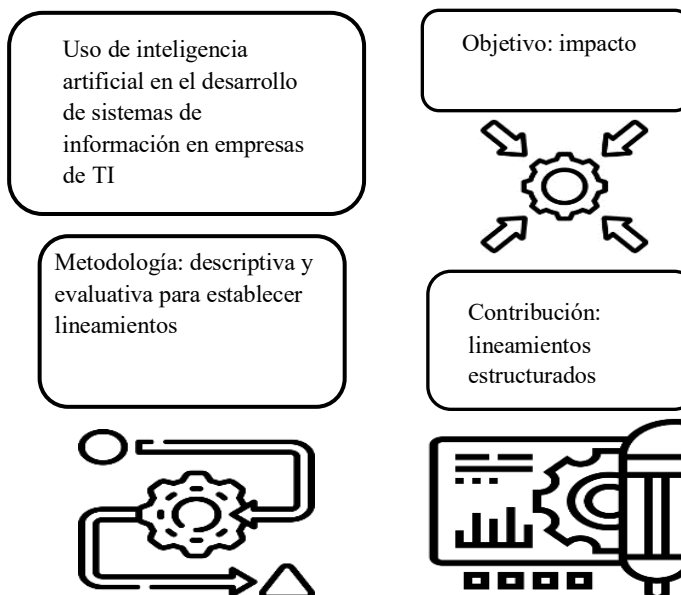
Lo sviluppo e l'uso dell'intelligenza artificiale [IA] nei sistemi informativi ha rivoluzionato le dinamiche operative e strategiche delle aziende del settore tecnologico. In Costa Rica, questo fenomeno ha avuto un impatto sia sul settore privato che su quello pubblico, generando progressi significativi in termini di automazione, efficienza e processo decisionale. Tuttavia, ha anche portato con sé sfide etiche, legali e di altro tipo che richiedono una risposta coordinata da parte della gestione aziendale, della politica interna e della regolamentazione governativa. Questo articolo presenta un'analisi completa dell'uso dell'intelligenza artificiale nello sviluppo dei sistemi informativi nelle aziende di tecnologia dell'informazione [IT] in Costa Rica, considerando i suoi vantaggi, le implicazioni legali e le sfide normative.



Intelligenza artificiale, Implicazioni legali, Etica

Resumen

El desarrollo y uso de la inteligencia artificial [IA] en los sistemas de información ha revolucionado la dinámica operativa y estratégica de las empresas del sector tecnológico. En Costa Rica, este fenómeno ha impactado tanto al sector privado como al público, generando avances significativos en automatización, eficiencia y toma de decisiones. Sin embargo, también ha traído consigo desafíos éticos, legales y de otra índole que requieren una respuesta coordinada de la gestión empresarial, la formulación de políticas internas y la regulación gubernamental. Este artículo presenta un análisis exhaustivo del uso de la inteligencia artificial en el desarrollo de sistemas de información en empresas de tecnologías de la información [TI] en Costa Rica, considerando sus beneficios, implicaciones legales y desafíos regulatorios.



Intelligenza artificiale, Implicazioni Legali, Ética

Introduzione

L'intelligenza artificiale [IA] è emersa come una delle tecnologie che ha avuto il maggiore impatto sulla società del XXI secolo, modificando in modo sostanziale il modo in cui tutto viene gestito nel mondo e anche il modo in cui le organizzazioni sviluppano i loro sistemi informatici e gestiscono i loro processi. La sua applicazione in settori quali l'automazione delle attività, l'analisi predittiva, la generazione di codice e l'assistenza nel processo decisionale ha generato una trasformazione senza precedenti negli ambienti aziendali, in particolare nel settore delle tecnologie dell'informazione [IT].

Di conseguenza, il Costa Rica non è rimasto indietro e l'adozione di strumenti di intelligenza artificiale è stata in crescita in aziende di vari settori, comprese quelle dedicate allo sviluppo di software, servizi di consulenza e gestione delle informazioni. Questa trasformazione ha portato con sé benefici quali l'aumento della produttività, l'ottimizzazione delle risorse e il miglioramento della qualità dei prodotti e dei servizi. Tuttavia, ha anche rivelato importanti punti deboli, tra cui l'esposizione di dati sensibili, la dipendenza tecnologica, la mancanza di normative specifiche e i rischi legati alla trasparenza degli algoritmi utilizzati. Inoltre, il quadro giuridico costaricano è ancora in una fase iniziale per quanto riguarda la regolamentazione specifica dell'intelligenza artificiale, il che genera incertezza giuridica sulla sua applicazione in vari ambiti, tra cui quello aziendale, giudiziario e amministrativo. Esistono norme generali sulla protezione dei dati e sui diritti fondamentali, ma l'assenza di linee guida chiare che regolino lo sviluppo e l'uso di sistemi informatici basati sull'IA rappresenta una sfida sia per la certezza del diritto che per l'etica nel processo decisionale automatizzato.

L'obiettivo principale di questo articolo è analizzare l'impatto dell'intelligenza artificiale sullo sviluppo di sistemi informatici nelle aziende tecnologiche costaricane, considerando i suoi vantaggi operativi, le vulnerabilità tecniche e le implicazioni legali. tutto ciò sulla base della revisione di casi di studio e prove empiriche, identificando buone pratiche, lacune normative e opportunità di miglioramento, proponendo una serie di raccomandazioni volte alla formulazione di politiche interne efficaci e al rafforzamento del quadro normativo nazionale.

Metodologia

In questa sezione vengono stabiliti i fondamenti metodologici che guidano questa ricerca. Viene descritto in dettaglio l'approccio adottato, nonché le tecniche e i metodi utilizzati per la raccolta e l'analisi dei dati necessari per raggiungere l'obiettivo prefissato nello studio.

Tipo di ricerca

La ricerca si inserisce in un approccio descrittivo e valutativo. La componente descrittiva ha lo scopo di identificare e descrivere in dettaglio le caratteristiche, le proprietà e i profili dei fenomeni studiati, mentre l'approccio valutativo mira a raccogliere dati importanti che consentano di misurare il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Questa combinazione metodologica facilita una comprensione globale dello stato attuale del tema di ricerca e consente di valutarne l'impatto in modo più preciso [Creswell, J. W., 2018].

Ambito di ricerca

L'ambito di questa ricerca è di tipo descrittivo, il che implica che si concentrerà sul dettaglio di aspetti specifici dell'argomento. Il suo obiettivo principale è quello di presentare una descrizione chiara e precisa dei fatti e delle situazioni correlate, fornendo una visione generale e ordinata degli eventi o delle caratteristiche riscontrate. In questo modo, si cerca di offrire una comprensione di base e strutturata dell'oggetto di studio [Hernández, R., Fernández C. e Baptista, P., 2021].

Approccio della ricerca

Si adotta un approccio misto, poiché integra sia metodi quantitativi che qualitativi, sfruttando i punti di forza di ciascuno per ottenere una visione più completa dell'oggetto di studio. L'approccio quantitativo si basa sull'uso di dati numerici e misurazioni statistiche, mentre quello qualitativo si concentra sull'esplorazione di percezioni, opinioni ed esperienze, consentendo così una comprensione più profonda e contestualizzata dei fenomeni analizzati [Hernández, R., Fernández C. e Baptista, P., 2021].

In questo studio verrà utilizzato un approccio misto, poiché consente di integrare dati quantitativi, ottenuti attraverso un sondaggio sull'impatto degli strumenti di intelligenza artificiale sull'efficienza e sul processo decisionale, con dati qualitativi che raccolgono percezioni ed esperienze.

Questa combinazione metodologica offre una comprensione più ampia e dettagliata del fenomeno analizzato, affrontando sia gli aspetti misurabili che quelli interpretativi dell'uso dell'IA nello sviluppo di sistemi informatici nelle aziende tecnologiche costaricane.

Progettazione della ricerca

In questa sezione vengono stabiliti il disegno e la metodologia che saranno utilizzati per condurre lo studio, sulla base del tipo di ricerca, dell'ambito e dell'approccio precedentemente selezionati.

Scatola 1

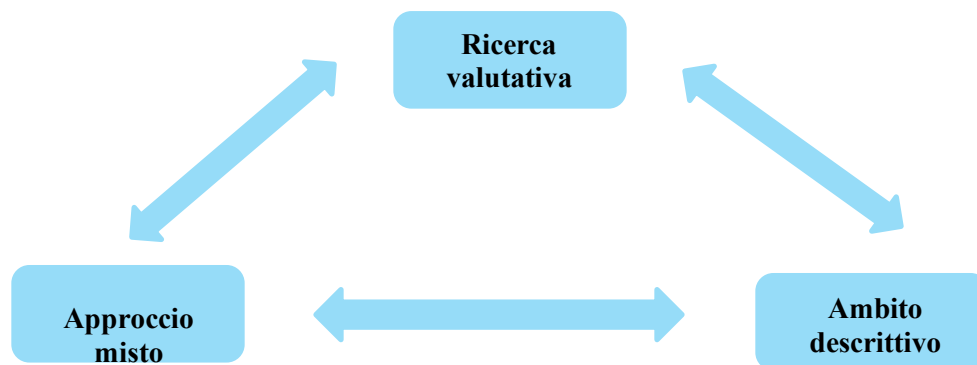


Figura 1

Struttura di ricerca

La figura 1 presenta in modo visivo il percorso pianificato per la ricerca. Sulla base delle informazioni e delle caratteristiche definite in base al tipo di ricerca, alla sua portata e al suo approccio, lo studio sarà orientato alla valutazione con lo scopo di analizzare sia i vantaggi che i punti deboli associati all'uso di strumenti di intelligenza artificiale nelle aziende del settore tecnologico costaricano.

Lo studio avrà una portata descrittiva, orientata a registrare le caratteristiche dell'intelligenza artificiale, nonché i suoi effetti sulla produttività e l'efficienza nell'ambito lavorativo, oltre ad analizzare gli aspetti relativi alla legislazione esistente.

Verrà inoltre utilizzato un approccio misto che integra dati quantitativi, ottenuti tramite domande chiuse di un sondaggio, e dati qualitativi, raccolti tramite domande aperte di interviste che raccolgono opinioni ed esperienze. Questa combinazione consente di ottenere una prospettiva completa e dettagliata sull'impatto dell'IA nelle aziende tecnologiche costaricane.

Campione

Nello studio è stato utilizzato un campione non probabilistico, secondo Hernández Sampieri [2021] in questo tipo di campione: “la scelta degli elementi non dipende dalla probabilità, ma da cause legate alle caratteristiche della ricerca o agli scopi del ricercatore” [p. 176], ovvero si tratta di un metodo che non risponde a un approccio meccanico né si basa su formule probabilistiche. Al contrario, dipende dal giudizio e dalle decisioni prese dai ricercatori, guidati da criteri specifici direttamente collegati al contenuto e agli obiettivi della ricerca.

Il campione è costituito da professionisti del settore informatico e legale che partecipano all'uso e allo sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale, nonché da personale dirigenziale di aziende che utilizzano IA di vario tipo, sia pubbliche che private, della grande area metropolitana, nota come GAM, che comprende le quattro città più grandi del Costa Rica, ovvero San José, Alajuela, Cartago e Heredia, tutte situate nell'altopiano centrale del paese. Il campione, composto da 100 individui, è stato ottenuto mediante un campionamento casuale stratificato in base alla provincia, all'età e al profilo lavorativo sopra menzionato.

Sono stati scelti campioni rappresentativi di questi gruppi al fine di garantire che le informazioni ottenute fornissero una prospettiva completa ed equilibrata sull'argomento oggetto di ricerca.

Strumenti di raccolta dati

Come metodi di raccolta delle informazioni sono state utilizzate interviste e sondaggi strutturati. Le interviste hanno offerto una comprensione dettagliata delle opinioni e delle percezioni degli esperti, mentre i sondaggi hanno permesso di raccogliere dati da un numero maggiore di partecipanti, fornendo così una prospettiva più ampia sull'argomento oggetto di ricerca.

È stata inoltre utilizzata l'analisi documentale, che consiste nella revisione organizzata, nella valutazione e nella raccolta di informazioni rilevanti contenute in documenti e registri relativi all'argomento di studio.

Tecniche di analisi delle informazioni

Le tecniche di analisi delle informazioni sono l'insieme di trasformazioni, operazioni, riflessioni e verifiche che vengono effettuate sui dati al fine di estrarre significati rilevanti in relazione al problema di ricerca [Saiz, R., 2016]. Per l'analisi dei dati è stata utilizzata la tecnica della triangolazione, che consente di confrontare le informazioni provenienti da fonti diverse al fine di garantire la validità e l'affidabilità dei risultati.

Inoltre, in questo caso l'analisi delle informazioni è stata effettuata mediante la tecnica dell'analisi grafica. Secondo López-Roldán [2015], "il grafico viene utilizzato per mostrare i dati raccolti in modo organizzato. Esistono diverse alternative per presentare le informazioni in forma grafica. Il tipo di grafico deve essere scelto in base alle esigenze o agli interessi del ricercatore" [p. 137], in altre parole, si tratta di rappresentazioni visive utilizzate per mostrare i dati in forma grafica. Esistono diversi tipi di grafici che consentono di illustrare le misurazioni ottenute.

Questa tecnica viene solitamente applicata nelle ricerche con approccio misto, in cui vengono presentati dati statistici seguiti da un'analisi qualitativa delle informazioni raccolte. Nel caso di questa ricerca è stato utilizzato Microsoft FORMS, che consente la creazione di sondaggi online a cui gli utenti possono accedere tramite un browser web o un dispositivo mobile [Microsoft, 2023]. Lo strumento include anche una sezione di analisi delle risposte tramite grafici e offre inoltre la possibilità di integrarsi con fogli di calcolo Excel, facilitando un esame più dettagliato delle risposte ottenute nei sondaggi.

Risultati

Di seguito sono riportati i risultati derivanti dal processo di raccolta e analisi dei dati, volto ad esaminare le principali sfide e i vantaggi associati allo sviluppo di sistemi informatici basati sull'intelligenza artificiale. Le informazioni sono state ottenute attraverso interviste, sondaggi e revisione documentale.

Nel settore imprenditoriale costaricano, in particolare nelle aziende che operano nel campo delle tecnologie dell'informazione, l'implementazione di strumenti basati sull'intelligenza artificiale ha registrato una forte crescita. Questo sviluppo risponde alla crescente domanda di automazione dei processi, ottimizzazione dell'efficienza operativa, riduzione dei costi e sviluppo di prodotti e servizi più personalizzati e competitivi.

Di seguito vengono riportati i dati più importanti analizzati e i risultati ottenuti dall'applicazione degli strumenti di raccolta dati:

Scatola 2

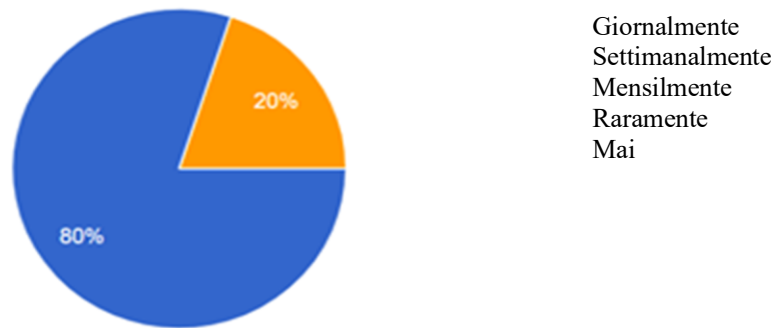


Figura 2

Frequenza di utilizzo degli strumenti IA

La figura 2 mostra che l'80% degli intervistati appartenenti ad aziende di tecnologia dell'informazione utilizza strumenti di IA su base giornaliera, mentre il 20% lo fa con frequenza mensile. Questi dati evidenziano un'elevata dipendenza tecnologica e allo stesso tempo riflettono un vantaggio competitivo derivante dall'uso sistematico dell'IA, in particolare in termini di ottimizzazione dei tempi e miglioramento delle prestazioni operative.

A integrazione dei risultati precedenti, secondo Redacción BDM [2023] e Job Market Insights [2024], l'adozione quotidiana di strumenti basati sull'intelligenza artificiale presenta una tendenza globale in crescita, guidata principalmente dal suo impatto positivo sulla produttività professionale e sull'ottimizzazione dei processi lavorativi.

Scatola 3

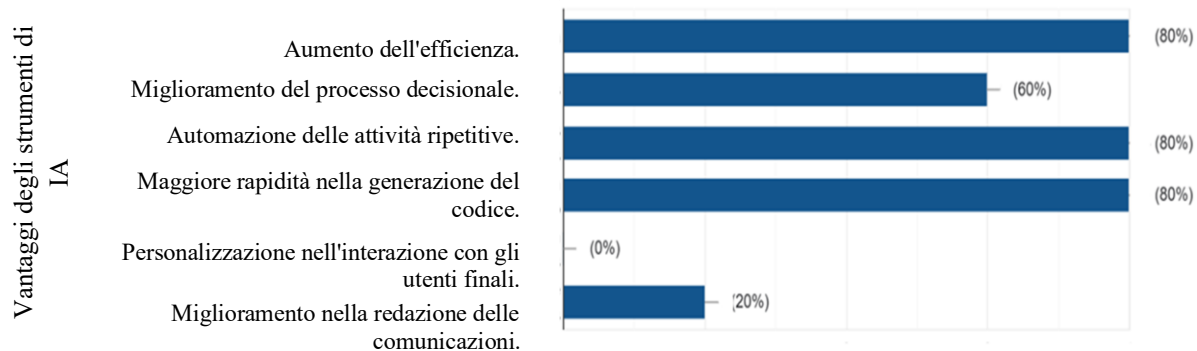


Figura 3

Vantaggi dell'utilizzo degli strumenti di IA

D'altra parte, dalla figura 3 si evince che i principali vantaggi percepiti dall'uso di strumenti di intelligenza artificiale nelle aziende di tecnologia dell'informazione si concentrano sull'aumento dell'efficienza, l'automazione di compiti ripetitivi e l'accelerazione nella generazione di codice, aspetti indicati dall'80% degli intervistati.

Questi sono seguiti dal miglioramento del processo decisionale [60%] e, in misura minore, dai miglioramenti nella redazione delle comunicazioni [20%]. I risultati indicano che l'80% dei benefici identificati è legato a funzioni operative, il che suggerisce una significativa ottimizzazione dei processi e una riduzione dei tempi di esecuzione. Da parte sua, il miglioramento nel processo decisionale si profila come un beneficio di natura strategica, mentre la bassa percentuale associata alla redazione suggerisce un'area con potenziale di sviluppo.

A complemento di quanto emerso da questo risultato, secondo Carlos Gonzalo [2024] e Paulyne Sombret [2025] gli strumenti basati sull'intelligenza artificiale facilitano l'automazione delle attività di routine, consentendo ai professionisti di dedicare più tempo ad attività di natura strategica e di maggiore valore aggiunto per le aziende.

Scatola 4

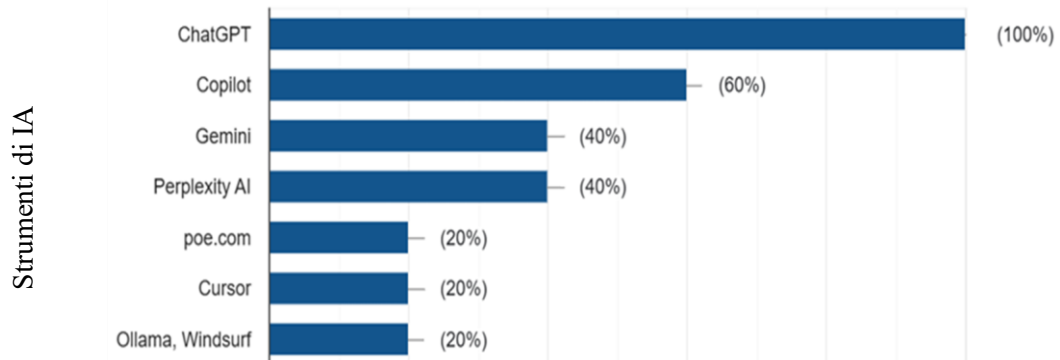


Figura 4

Frequenza di utilizzo degli strumenti IA

Di conseguenza, nella figura 4 si osserva che lo strumento di intelligenza artificiale più utilizzato dal 100% degli intervistati è ChatGPT, seguito da Copilot con il 60% di utilizzo, Gemini e Perplexity AI che sono utilizzati dal 40%, mentre poe.com, Cursor, Ollama e Windsurf hanno il minor utilizzo con il 20%. Questo risultato evidenzia la preferenza per strumenti di IA che ottimizzano le attività lavorative quotidiane.

Tuttavia, un altro aspetto identificato nel contesto imprenditoriale costaricano è che organizzazioni con diversi livelli di maturità nel settore tecnologico hanno iniziato a incorporare strumenti basati sull'intelligenza artificiale in diverse aree funzionali. Questa incorporazione risponde sia alla necessità di migliorare l'efficienza operativa sia alla ricerca di innovazione e vantaggio competitivo in un ambiente sempre più digitalizzato.

Gli strumenti più utilizzati, come quelli menzionati nella figura 4, includono alcune caratteristiche significative per le aziende, tra cui: a) sviluppo assistito dall'IA, dove si parla di strumenti come Copilot che sono stati incorporati negli ambienti di sviluppo software con lo scopo di assistere i programmatori in compiti come il suggerimento di righe di codice, il rilevamento di errori e la raccomandazione di rifattorizzazione.

Queste piattaforme contribuiscono quindi in modo significativo all'ottimizzazione dei cicli di sviluppo, riducendo i tempi di programmazione e migliorando la qualità del codice, con ripercussioni positive sull'efficienza e la produttività dei team tecnici [GitHub, 2024]; b) analisi predittiva dei dati, in cui l'applicazione di tecniche di Machine Learning consente alle organizzazioni di anticipare le tendenze del mercato, prevedere i comportamenti degli utenti e rilevare possibili guasti tecnici prima che si manifestino.

Queste capacità analitiche avanzate non solo rafforzano la gestione preventiva, ma facilitano anche un processo decisionale più informato, basato sui dati e strategicamente orientato al raggiungimento di vantaggi competitivi sostenibili in ambienti dinamici e altamente competitivi [Accenture, 2024], c) ottimizzazione dell'infrastruttura IT, che consente, attraverso l'uso di algoritmi intelligenti, di gestire le risorse cloud, bilanciare i carichi di lavoro, rilevare le vulnerabilità ed eseguire autonomamente le attività di manutenzione [Amazon Web Services, 2024] e d) assistenza clienti tramite chatbot che propongono soluzioni basate sull'elaborazione del linguaggio naturale [NLP] che consentono di fornire supporto agli utenti finali, automatizzare le risposte e offrire assistenza 24 ore su 24, 7 giorni su 7, con elevati livelli di precisione [IBM, 2024].

Allo stesso modo, l'implementazione di strumenti basati sull'intelligenza artificiale nel settore aziendale delle tecnologie dell'informazione ha generato una serie di vantaggi che sono stati documentati sia nella letteratura specializzata che in diverse esperienze aziendali. Tra i vantaggi più significativi vi è l'aumento della produttività e dell'efficienza operativa, poiché consente ai team tecnici di concentrarsi su attività di natura strategica, mentre l'IA si occupa di compiti ripetitivi o di natura predittiva. Inoltre, l'automazione intelligente contribuisce alla riduzione degli errori umani, minimizzando i fallimenti causati dalla fatica o dalla distrazione, in particolare in processi critici come la programmazione o la gestione dei dati.

Un altro vantaggio importante è la promozione dell'innovazione nei prodotti e nei servizi, consentendo lo sviluppo di soluzioni tecnologiche più avanzate, con capacità adattive e personalizzate orientate alle esigenze degli utenti finali.

Allo stesso modo, l'esperienza del cliente è rafforzata dall'uso di assistenti virtuali, sistemi di raccomandazione e analisi del comportamento, che favoriscono la soddisfazione e la fidelizzazione dei clienti. Infine, l'IA contribuisce anche all'ottimizzazione dei costi operativi, grazie a una gestione più efficiente delle risorse, alla riduzione delle attività manuali e al miglioramento del consumo energetico, il che si traduce in risparmi significativi per le organizzazioni [[World Economic Forum, 2024](#)] e [[PWC, 2023](#)].

Allo stesso modo, in Costa Rica sono stati compiuti progressi significativi nella trasformazione digitale, distinguendosi in America Latina per l'alto punteggio ottenuto nell'Indice di preparazione alla rete [Networked Readiness Index] del Forum economico mondiale. Tuttavia, permangono sfide strutturali che incidono sull'equità digitale, sulle infrastrutture tecnologiche, sulla formazione dei talenti e sulla regolamentazione nel Paese [[CAMTIC, 2018](#)].

La maturità digitale delle aziende costaricane varia notevolmente. Le grandi multinazionali e le società esportatrici hanno integrato l'IA nei loro processi strategici, sfruttandone il potenziale per ottimizzare le operazioni e prendere decisioni informate. Al contrario, molte piccole e medie imprese [PMI] sono ancora nelle fasi iniziali dell'adozione tecnologica, implementando soluzioni isolate o a basso costo [[Alfaro, P., Alfaro, R. e Herrera, R., 2024](#)].

Pertanto, per progredire verso una digitalizzazione equa e sostenibile, è essenziale rafforzare le capacità tecniche, standardizzare le buone pratiche e promuovere politiche di innovazione responsabile. Inoltre, l'attuazione di una strategia nazionale di IA, in linea con le raccomandazioni etiche internazionali, sarà fondamentale per garantire che l'intelligenza artificiale contribuisca allo sviluppo imprenditoriale in modo inclusivo ed efficace.

Inoltre, il rapido sviluppo dell'intelligenza artificiale ha superato, in diversi contesti, la capacità di adattamento dei quadri giuridici convenzionali. La complessità intrinseca di queste tecnologie, caratterizzate dal loro funzionamento algoritmico, dalla loro autonomia operativa e, in molti casi, dalla loro mancanza di trasparenza, pone sfide importanti per il diritto. Tra gli aspetti più critici figurano la determinazione della responsabilità giuridica, la garanzia della trasparenza nei processi automatizzati, la tutela dei diritti fondamentali e la necessità di meccanismi efficaci di supervisione e controllo istituzionale.

A questo proposito, sebbene il Costa Rica abbia compiuto progressi significativi nell'adozione dell'intelligenza artificiale, deve ancora affrontare grandi sfide in termini di regolamentazione e governance. Attualmente non esiste una legislazione specifica che affronti in modo completo lo sviluppo, l'implementazione e la supervisione delle tecnologie basate sull'IA. Ciò crea lacune normative che possono compromettere l'equità, la trasparenza e la protezione dei diritti fondamentali. Ad esempio, l'uso dell'IA nei processi giudiziari e di assunzione ha sollevato preoccupazioni in merito a pregiudizi e mancanza di trasparenza [[AI-360, 2025](#)].

Sebbene siano stati compiuti i primi passi, come la presentazione del disegno di legge n. 23.771, il quadro normativo costaricano in materia di intelligenza artificiale continua a presentare lacune significative. Tra le principali omissioni figurano l'assenza di una classificazione dei sistemi di IA in base al loro livello di rischio, nonché la mancanza di normative differenziate che tengano conto del tipo di applicazione, in particolare in settori sensibili come la sanità, la giustizia o la finanza.

Inoltre, non è prevista la creazione di un ente nazionale incaricato della supervisione di queste tecnologie, né sono stati istituiti meccanismi obbligatori di valutazione preventiva dell'impatto legale o etico. Non esistono nemmeno disposizioni che garantiscano il diritto delle persone di ottenere spiegazioni comprensibili quando una decisione è stata presa da un sistema automatizzato. Questa mancanza di regolamentazione pone i cittadini in una situazione di vulnerabilità di fronte a tecnologie opache, difficili da controllare e prive di un quadro di controllo istituzionale chiaro ed efficace [[Assemblea Legislativa del Costa Rica, 2023](#)] e [[IAPP, 2023](#)].

Pertanto, il Costa Rica si trova attualmente in una posizione privilegiata per stabilire i quadri normativi che orientino lo sviluppo etico, giuridico e tecnico dell'intelligenza artificiale all'interno delle aziende di tecnologia dell'informazione. Sebbene il Paese abbia compiuto progressi nei processi di digitalizzazione e mantenga un impegno costante nella promozione dei diritti umani, la mancanza di una regolamentazione specifica in materia di IA rappresenta un rischio considerevole, soprattutto alla luce della sua crescente implementazione in ambiti strategici come quello imprenditoriale, giudiziario ed educativo.

Di conseguenza, di seguito viene proposta una serie di linee guida strutturate su tre livelli: quadro giuridico nazionale, politiche aziendali interne e politiche pubbliche trasversali, che mirano a diventare un punto di riferimento nell'orientamento dell'uso responsabile dell'IA nelle aziende di sviluppo di sistemi informativi in Costa Rica.

Livello 1: Proposta di linee guida per un quadro giuridico nazionale

La Costa Rica deve affrontare la sfida di stabilire un quadro normativo completo che regoli lo sviluppo e l'uso delle tecnologie basate sull'IA, al fine di garantire un ambiente etico, sicuro e rispettoso dei diritti fondamentali. A tal fine, è indispensabile promulgare una legge generale sull'intelligenza artificiale che contempli principi quali la trasparenza, la sicurezza, la supervisione umana e la non discriminazione.

Tale legge dovrebbe includere la classificazione dei sistemi di IA in base a livelli di rischio quali alto, medio e basso, oltre a vietare applicazioni considerate invasive o inaccettabili come la sorveglianza di massa in tempo reale, riconoscere i diritti digitali fondamentali, come il diritto alla spiegazione e alla contestazione delle decisioni automatizzate, nonché stabilire obblighi differenziati per sviluppatori, fornitori e utenti. Si propone inoltre la creazione di un'Autorità nazionale per l'etica e la supervisione algoritmica, incaricata delle funzioni di certificazione, audit, emissione di linee guida e controllo dell'uso dell'IA sia in ambito pubblico che privato.

Tale ente potrebbe inoltre collaborare con istituzioni accademiche e centri di ricerca per promuovere standard etici e normativi a livello nazionale.

Infine, è necessario aggiornare il quadro giuridico vigente, in particolare la legge n. 8968 sulla protezione dei dati personali, incorporando disposizioni sugli algoritmi, le decisioni automatizzate e il trattamento di grandi volumi di dati noti come big data. Questa riforma dovrà essere coordinata con altre normative settoriali, come il Codice del lavoro, la Legge generale sulla pubblica amministrazione e quelle relative ai settori della sanità, dell'istruzione e della giustizia, al fine di garantire una regolamentazione trasversale, coerente e adeguata alle sfide poste dall'intelligenza artificiale in diversi contesti.

Livello 2: Linee guida per le politiche interne aziendali

Le aziende del settore delle tecnologie dell'informazione hanno la responsabilità di sviluppare e attuare politiche organizzative che regolino adeguatamente l'uso dell'intelligenza artificiale. Tali politiche devono essere orientate da principi etici fondamentali, quali la trasparenza algoritmica, la protezione dei dati personali, l'equità e la non discriminazione, nonché la supervisione umana e la responsabilità istituzionale. Una politica efficace dovrebbe prevedere la creazione di comitati interni di governance tecnologica, composti da rappresentanti delle aree giuridica, tecnica, amministrativa ed etica, incaricati di esaminare, approvare e controllare i progetti che coinvolgono l'IA nell'organizzazione.

Allo stesso modo, è fondamentale stabilire procedure chiare per l'uso di strumenti di IA generativa come ChatGPT, GitHub Copilot, Gemini o piattaforme di generazione di codice che definiscano criteri di utilizzo, limiti funzionali, controlli di accesso e meccanismi di convalida delle informazioni generate.

A ciò si aggiunge la necessità di effettuare valutazioni periodiche sui rischi e i benefici associati a ciascuna implementazione tecnologica, tenendo conto degli aspetti legali, reputazionali, operativi, di sicurezza informatica e di salute sul lavoro.

Infine, diventa indispensabile la formazione continua dei collaboratori in materia di etica digitale e intelligenza artificiale. Questa deve affrontare aspetti chiave come i pregiudizi algoritmici, la protezione dei dati, l'interpretazione dei modelli e i criteri necessari per un'efficace supervisione umana, al fine di promuovere una cultura organizzativa critica e responsabile nei confronti dell'uso di queste tecnologie emergenti.

Livello 3: Proposte di politiche pubbliche trasversali

Al fine di rafforzare l'ecosistema nazionale dell'intelligenza artificiale, si propone l'adozione di una serie di misure trasversali che favoriscano uno sviluppo inclusivo, etico e contestualizzato alle esigenze del Paese. In primo luogo, è fondamentale incentivare lo sviluppo locale delle tecnologie di IA attraverso la creazione di meccanismi di sostegno quali incentivi fiscali, programmi di accelerazione, incubatori di innovazione e fondi di investimento orientati a promuovere soluzioni tecnologiche con identità costaricana.

Queste iniziative dovrebbero concentrarsi sulle sfide prioritarie del Paese in settori quali la sanità pubblica, l'istruzione, la sicurezza dei cittadini e la sostenibilità ambientale. In secondo luogo, si pone la necessità di incorporare contenuti sull'etica e la regolamentazione dell'IA nei programmi di studio dell'istruzione superiore, sia nelle università pubbliche che in quelle private. Tale incorporazione non deve limitarsi alle discipline tecniche, ma estendersi a corsi di laurea come giurisprudenza, amministrazione, comunicazione e scienze sociali, al fine di formare professionisti in grado di comprendere e affrontare le sfide sociali, legali ed etiche poste dall'uso di queste tecnologie. Si sottolinea quindi l'importanza di garantire un accesso equo a queste tecnologie, in particolare per le micro, piccole e medie imprese e per le regioni situate al di fuori della Grande Area Metropolitana. Ciò implica facilitare l'accesso alle infrastrutture digitali, agli strumenti di IA e ai programmi di formazione che consentono di ridurre i divari territoriali e rafforzare la competitività in tutto il paese.

Benefici attesi dall'attuazione delle linee guida

L'adozione e l'attuazione efficace di queste linee guida avrebbero un impatto significativo sul rafforzamento dell'ecosistema digitale costaricano. In primo luogo, contribuirebbero a consolidare la reputazione del Costa Rica come punto di riferimento regionale nella promozione dei diritti umani e nell'uso etico della tecnologia.

Inoltre, consentirebbe di mitigare i rischi legali, sociali e reputazionali che possono derivare da un uso non regolamentato dell'intelligenza artificiale. Allo stesso tempo, queste linee guida favorirebbero uno sviluppo tecnologico più inclusivo, equo e sostenibile, in linea con le esigenze del Paese e con gli standard internazionali. Inoltre, la loro applicazione rafforzerebbe la competitività globale delle aziende tecnologiche nazionali, dimostrando l'impegno verso un'innovazione responsabile. In sintesi, questa implementazione rafforzerebbe la protezione dei diritti dei cittadini di fronte a decisioni automatizzate potenzialmente ingiuste o arbitrarie, garantendo un quadro di trasparenza, supervisione e responsabilità. Di seguito è riportata una sintesi delle raccomandazioni suddivise per livello:

Scatola 5

Tabella 1

Raccomandazioni per livello

<i>Livello</i>	<i>Proposta</i>	<i>Giustificazione</i>
Nazionale	Legge specifica sull'IA	Garantire diritti e certezza giuridica
Nazionale	Autorità di vigilanza	Controllare l'uso e certificare le soluzioni
Imprenditoriale	Politica interna sull'IA	Uso etico e controllato nelle aziende
Imprenditoriale	Comitato di governance	Supervisione e tracciabilità
Pubblico	Formazione sull'etica dell'IA	Formazione di talenti critici e responsabili
Pubblico	Incentivi all'innovazione	Sviluppo sovrano della tecnologia

Conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di trarre una serie di conclusioni fondamentali. In primo luogo, gli strumenti basati sull'intelligenza artificiale svolgono un ruolo importante nel miglioramento delle prestazioni lavorative all'interno delle aziende IT che sviluppano sistemi informativi. La loro introduzione ha facilitato l'automazione di compiti routinari e ripetitivi, consentendo ai professionisti del settore di concentrare i propri sforzi su funzioni strategiche e a maggior valore aggiunto, contribuendo così a una gestione più efficiente e orientata all'innovazione.

In secondo luogo, è stata identificata come uno dei principali ostacoli l'assenza di un quadro normativo specifico che regoli l'uso dell'intelligenza artificiale nelle aziende del settore tecnologico in Costa Rica. Sebbene esistano disposizioni generali applicabili all'uso delle tecnologie nel settore pubblico, non è stata ancora promulgata una legislazione chiara ed esaustiva che tenga conto delle peculiarità di queste tecnologie emergenti. Questa lacuna normativa genera un clima di incertezza riguardo alle condizioni in cui devono essere implementati gli strumenti di intelligenza artificiale.

D'altra parte, l'implementazione di strumenti di intelligenza artificiale in un'azienda del settore tecnologico deve essere effettuata in modo progressivo e pianificato, al fine di facilitare una transizione adeguata all'interno del personale. Questo approccio consente di mitigare possibili situazioni avverse e favorire un'integrazione più efficace. Tuttavia, è importante sottolineare l'importanza di stabilire processi di formazione continua, essenziali sia per sfruttare appieno il potenziale di queste tecnologie emergenti sia per ridurre la resistenza al cambiamento tra i collaboratori.

Infine, le riflessioni future sull'integrazione dell'intelligenza artificiale nelle aziende tecnologiche costaricane sono promettenti, a condizione che tale integrazione avvenga in modo strategico e pianificato. Con il rapido progresso dello sviluppo tecnologico, diventa necessario che il quadro normativo si evolva rispondendo alle nuove sfide che si presentano.

In questo modo, sarà possibile confermare che l'uso dell'intelligenza artificiale non solo contribuisce a ottimizzare l'efficienza e la trasparenza dei processi organizzativi, ma funge anche da catalizzatore per il rafforzamento del settore imprenditoriale in Costa Rica, garantendo al contempo la protezione dei diritti umani e la promozione dell'equità.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

L'autore dichiara di non avere alcun conflitto di interessi. Non ha interessi finanziari in competizione noti né relazioni personali che potrebbero aver influenzato l'articolo.

Contributo degli autori

Il ricercatore ha contribuito al 100% ai punti sviluppati in questa ricerca.

Disponibilità di dati e materiali

I dati per questa ricerca sono disponibili secondo le fonti consultate.

Finanziamento

La ricerca non ha ricevuto alcun finanziamento.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia la Facoltà di Ingegneria dei Sistemi dell'Università Fidélitas, campus San Pedro de San José, Costa Rica. Inoltre, si ringraziano per il loro contributo gli studenti Estefani Lucía Cerdas Sánchez, Stanley Yuval Solera Vargas ed Eduardo Sandí Zúñiga.

Abbreviazioni

ENIA	strategia nazionale sull'intelligenza artificiale
IA	intelligenza artificiale
MICITT	Ministero della Scienza, dell'Innovazione, della Tecnologia e delle Telecomunicazioni
NLP	Elaborazione del linguaggio naturale
PyMEs	piccole e medie imprese
TI	tecnologie dell'informazione

Riferimenti

Nozioni di base

Creswell, J.W. [2018]. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 5th ed., Sage Publications.

Hernández, R., Fernández, C. and Baptista, P. [2021]. *Metodología de la investigación*. 7th ed., McGraw-Hill.

Saiz, R. [2016]. [Resumen de Técnicas de análisis de información](#).

López-Roldan, P. & Fachelli, S. [2015]. *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Universitat Autònoma de Barcelona.

Microsoft. [2023]. [¿Qué es Microsoft Forms?](#)

Supporto

Redacción BDM. [2023]. [El 78% de los empleados que utilizan la IA generativa creen que ayuda a mejorar el rendimiento, el ahorro de tiempo y la creatividad en el trabajo](#). BigDatamagazine.

Job Market Insights. [2024]. [La inteligencia artificial sigue avanzando: 1 de cada 3 empleados ya la usa en su día a día](#). InfoJobs.

Gonzalo, C. [2024]. [Aplicación de inteligencia artificial aplicada a la empresa](#).

Sombret, P. [2025]. [La IA en la oficina: Los equipos informáticos entran en una nueva era](#). Deskbird.

GitHub. [2024]. [Copilot: Your AI pair programmer](#).

Accenture. [2024]. [AI and Machine Learning in Data Analytics](#). Accenture Insights.

Amazon Web Services. [2024]. [Machine Learning for Infrastructure Optimization](#). AWS Use Cases.

IBM. [2024]. [Watson Assistant: AI for Customer Service](#). IBM Cloud.

World Economic Forum. [2023]. [AI Adoption in Latin America: Opportunities and Risks](#). WEF Report.

PWC. [2023]. [AI in Business: Global Impact and ROI](#). PwC Global AI Study.

CAMTIC. [2017]. [Costa Rica: Alta nota en economía digital pero baja en uso e impacto de las TIC](#).

Alfaro, P., Alfaro, R. y Herrera, R. [2024]. [Valor de negocio de TI para pequeñas y medianas empresas durante el periodo de COVID-19: una revisión sistemática de la literatura](#). Revista de Investigación en Tecnologías de la Información.

AI-360. [2025]. [Costa Rica- CAIDP](#).

Asamblea Legislativa de Costa Rica. [2023]. [Proyecto de Ley N.º 23.771](#).

IAPP. [2023]. [Análisis del proyecto de ley de regulación de la inteligencia artificial en Costa Rica](#).

Applicazione dei modelli di apprendimento automatico per la classificazione delle malattie che richiedono il ricovero ospedaliero: un approccio basato sul NOM-035 e sull'economia sociale e solidale in Messico





Aplicación de modelos de aprendizaje automático para la clasificación de enfermedades con requerimiento hospitalario: un enfoque basado en la NOM-035 y la Economía Social y Solidaria en México

Lara-Escamilla, Samuel * ^a, Rodríguez-Molina, Alejandro ^b, Rueda-Gutiérrez, Allan Balam ^c e Salazar-Cano, Nellie Cecilia ^d

^a  Instituto Tecnológico de Tlalnepantla •  ABE-1839-2022 •  0000-0002-2337-0878 •  609026

^b  Universidad Autónoma de la Ciudad de México •  AAY-9817-2020 •  0000-0002-6901-3833 •  555081

^c  Instituto Tecnológico de Tlalnepantla •  OJV-4600-2025 •  0009-0002-1887-8148 •  295451

^d  Instituto Tecnológico de Durango •  OQK-6707-2025 •  0009-0004-9189-7251 •  672635

Classificazione:

DOI: <https://doi.org/10.35429/P.2025.1.89.100>

Area: Ingegneria

Settore: Scienze tecnologiche

Disciplina: Tecnologia informatica

Sottodisciplina: Intelligenza artificiale

Punti chiave del manuale

Tra i principali contributi alla generazione di scienza e tecnologia descritti in questa ricerca figurano: innovazione metodologica, applicazione interdisciplinare, progressi nella previsione medica, approccio etico e sociale. Gli aspetti principali da applicare alla generazione di conoscenza universale sono: integrazione transdisciplinare, poiché integra scienza dei dati, medicina, psicologia del lavoro ed economia solidale, favorendo la costruzione di una conoscenza universale applicabile a diversi contesti sociali. Etica nell'implementazione della tecnologia: dimostra che l'IA può essere utilizzata in modo responsabile, dando priorità all'equità e al benessere umano. Solida base empirica: garantendo la replicabilità dei dati, sostiene la generazione di conoscenza scientifica attraverso la validazione incrociata, le metriche quantitative e l'analisi di sensibilità. Prospettiva di sostenibilità: promuove lo sviluppo di sistemi predittivi che integrano dati biomedici e psicosociali per rafforzare la salute occupazionale globale. Gestione degli ospedali e dei sistemi sanitari: favorisce la classificazione e la categorizzazione dei pazienti in base alle entrate, riducendo i tempi di attesa e contribuendo alle diagnosi cliniche a beneficio della popolazione e della salute. Le conclusioni di questa ricerca sono: la fattibilità di applicare modelli di apprendimento automatico, in particolare MLP e SVM, come strumenti di supporto nel processo decisionale medico per raccomandare il ricovero in ospedale sulla base di dati fisiologici e psicosociali. Entrambi i modelli hanno raggiunto metriche superiori al 90% in termini di accuratezza, precisione e sensibilità, convalidando il loro potenziale predittivo per ottimizzare la gestione ospedaliera. Il metodo integra le linee guida della NOM-035-STPS-2018, incorporando fattori psicosociali e organizzativi, e si inserisce nei principi dell'Economia Sociale e Solidale [ESS], promuovendo sistemi di intelligenza artificiale etici e orientati al benessere collettivo. Si propone di ampliare la banca dati e di includere nuove variabili psicologiche, ambientali e lavorative per rafforzare la capacità predittiva e l'interpretabilità del modello verso un sistema sanitario integrale sostenibile. Gli autori di questa ricerca appartengono al SNII, uno ha una borsa di studio del SECIHTI e uno appartiene al sistema PRODEP. I docenti che hanno contribuito sono affiliati a istituti di istruzione superiore del sistema di istruzione pubblica: Tecnológico Nacional de México Tlalnepantla, Universidad Autónoma de la Ciudad de México, Tecnológico Nacional de México Durango.

Area: Advocacy e attenzione ai problemi nazionali

Citazione: Lara-Escamilla, Samuel, Rodríguez-Molina, Alejandro, Rueda-Gutiérrez, Allan Balam e Salazar-Cano, Nellie Cecilia. 2025. Applicazione dei modelli di apprendimento automatico per la classificazione delle malattie che richiedono il ricovero ospedaliero: un approccio basato sul NOM-035 e sull'economia sociale e solidale in Messico. 89-100. PIREQA.

* ✉ [\[samuel.le@tlalnepantla.tecnm.mx\]](mailto:samuel.le@tlalnepantla.tecnm.mx)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



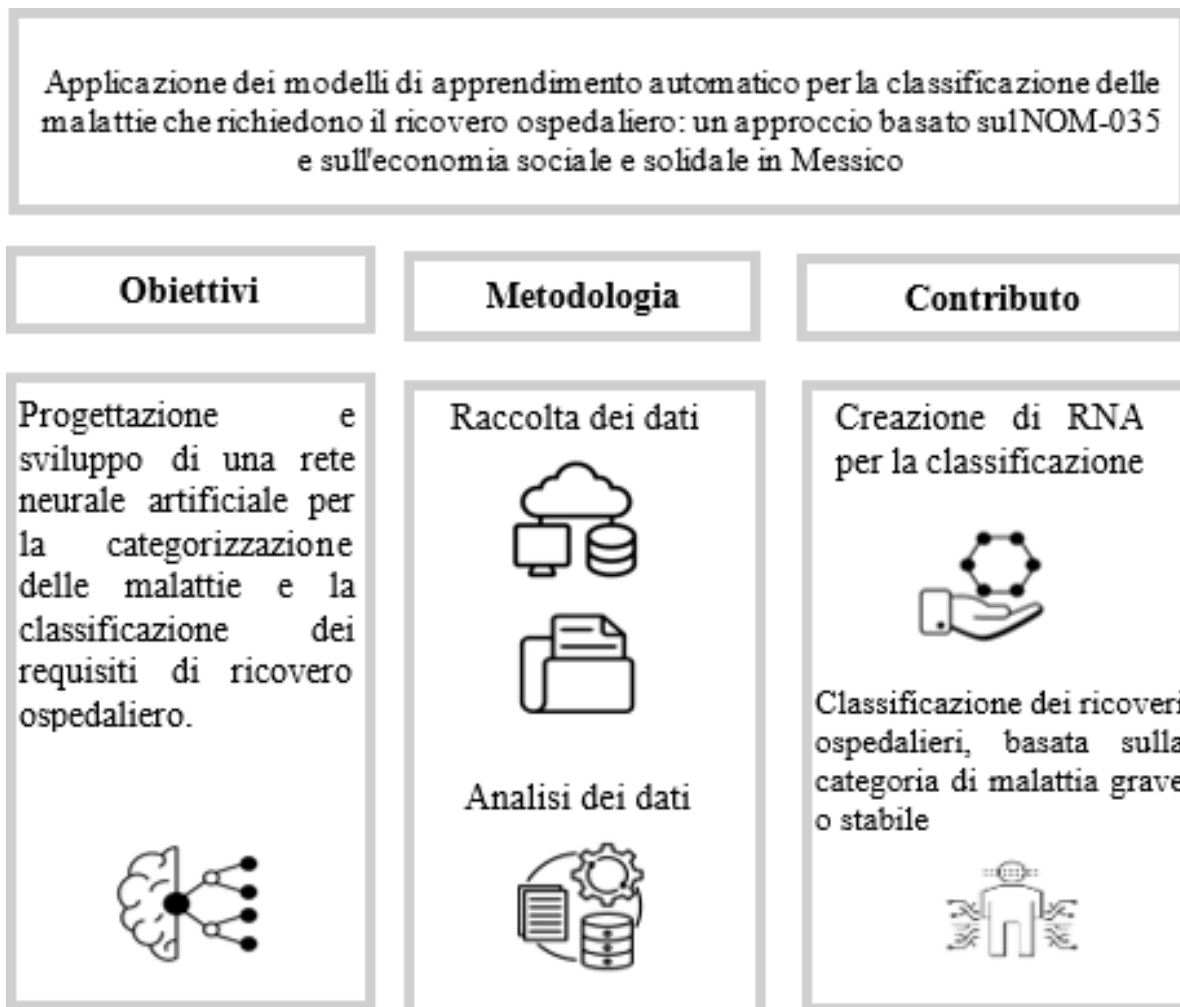
ISBN 978-607-8948-70-3 /©2009 Autore/i. Pubblicato da PIREQA-México, S.C. per la sua Holding Mexico per conto dell'Proceeding PIINI. Questo è un libro ad accesso libero con licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID®- nel contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



Sommario

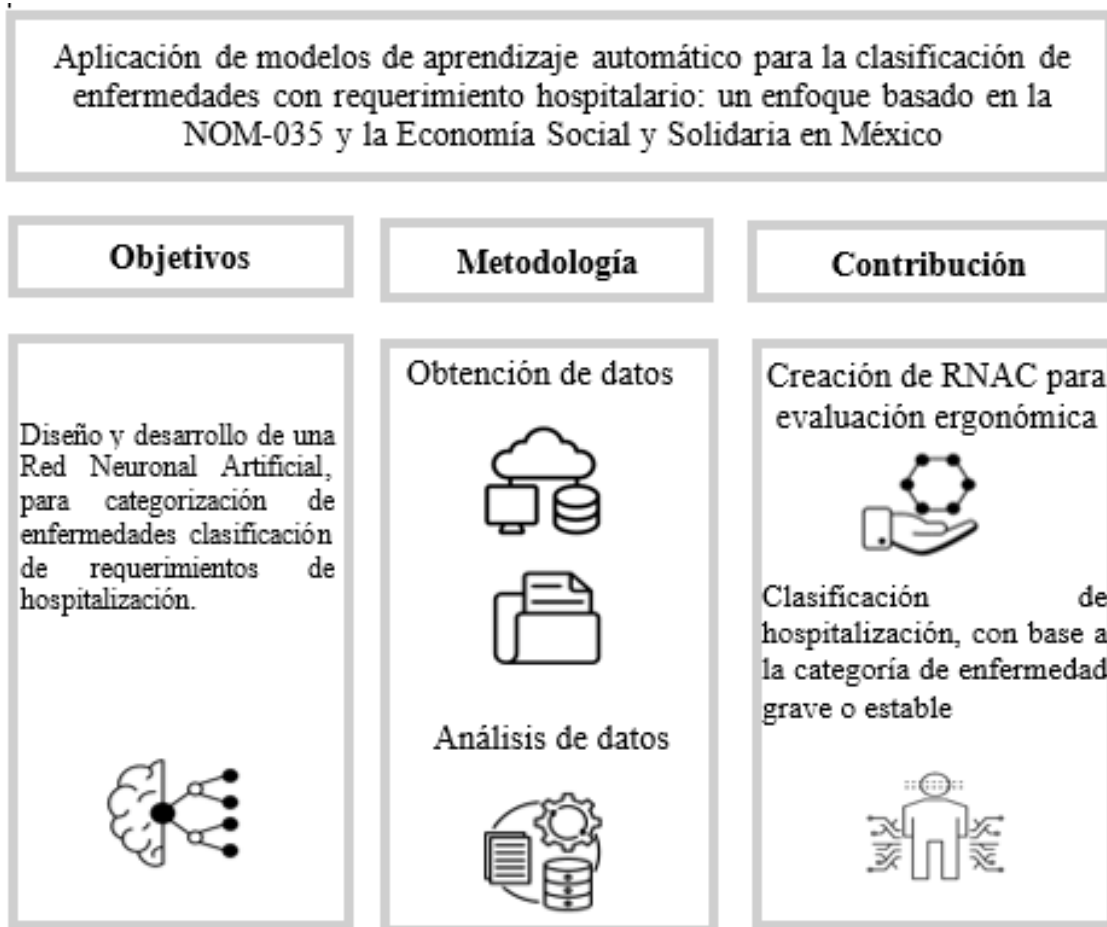
Questo articolo analizza l'uso di modelli predittivi di apprendimento automatico, in particolare reti neurali artificiali [ANN] e macchine a vettori di supporto [SVM], per raccomandare il ricovero ospedaliero tenendo conto di fattori psicosociali e clinici, nel quadro della NOM-035-STPS-2018 e dei principi dell'economia sociale e solidale [ESS]. Il suo obiettivo è quello di evitare ricoveri ospedalieri non necessari derivanti da indicatori isolati, identificando combinazioni di fattori che giustificano l'assistenza ospedaliera. Utilizzando un approccio quantitativo e predittivo, i dati medici, psicosociali e sociodemografici sono stati elaborati con operatori logici e ricerca operativa, ottenendo sei indicatori di rischio. Sono stati addestrati un perceptron multistrato [MLP] e una SVM con funzione di base radiale [RBF], entrambi con un'elevata accuratezza nella classificazione binaria relativa al ricovero ospedaliero. I modelli proposti sono consolidati come strumenti di supporto per il processo decisionale medico e l'ottimizzazione delle risorse ospedaliere.



Reti neurali artificiali, macchine a vettori di supporto, intelligenza artificiale nel settore sanitario

Resumen

El artículo analiza el uso de modelos predictivos de aprendizaje automático, específicamente redes neuronales artificiales [RNA] y máquinas de soporte vectorial [SVM], para recomendar hospitalización médica considerando factores psicosociales y clínicos, en el marco de la NOM-035-STPS-2018 y los principios de la Economía Social y Solidaria [ESS]. Su objetivo es evitar hospitalizaciones innecesarias derivadas de indicadores aislados, identificando combinaciones de factores que justifiquen la atención hospitalaria. Con un enfoque cuantitativo y predictivo, se usaron datos médicos, psicosociales y sociodemográficos procesados con Operadores Lógicos e investigación operativa, obteniendo seis indicadores de riesgo. Se entrenaron un Perceptrón Multicapa [MLP] y una SVM con función de base radial [RBF], alcanzando ambos alta precisión en la clasificación binaria sobre hospitalización. Los modelos propuestos se consolidan como herramientas de apoyo para la toma de decisiones médicas y la optimización de recursos hospitalarios.



Rdes neuronales artificiales; máquinas de soporte vectorial; inteligencia artificial aplicada a la salud

1. Introduzione

L'uso dell'intelligenza artificiale [IA] e dell'apprendimento automatico ha acquisito rilevanza negli ultimi anni come strumento analitico nella medicina predittiva e nella salute sul lavoro [Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016; LeCun & Hinton, 2015]. Tra le tecniche più importanti in questo campo figurano le RNA e le SVM, poiché consentono di identificare modelli complessi e di effettuare classificazioni accurate in contesti in cui i metodi statistici tradizionali presentano dei limiti [Nwanosike, E. M., Conway, B. R., Merchant, H. A., & Hasan, S. S., 2022].

La saturazione degli ospedali in Messico e in molti altri paesi è un problema importante, attribuito in molti casi al ricovero di pazienti sulla base di sintomatologia e indicatori clinici isolati [Cisterna-García, A., Guillén-Teruel, A., Caracena, M., Pérez, E., Jiménez, F., Francisco-Verdú, F. J., & Botía, J. A., 2022]. Tuttavia, il ricovero dei pazienti non sempre può essere giustificato con queste informazioni. La mancanza di strumenti che valutino l'impatto dei diversi indicatori clinici, oltre ai fattori psicosociali e sociodemografici, provoca azioni mediche che riducono l'efficienza del sistema sanitario.

In questo contesto, la norma messicana NOM-035-STPS-2018 regola i fattori di rischio psicosociale nei luoghi di lavoro, riconoscendo che lo stress, il carico di lavoro e la mancanza di sostegno sociale hanno un impatto diretto sulla salute fisica e mentale dei lavoratori [Segreteria del Lavoro e della Previdenza Sociale, 2018]. D'altra parte, l'Economia Sociale e Solidale [ESS] propone un modello di gestione partecipativa orientato a generare benessere collettivo, che apre la possibilità di incorporare tecnologie di intelligenza artificiale come strumenti di rafforzamento della comunità.

Per quanto sopra, il presente lavoro propone lo sviluppo di modelli di apprendimento automatico, in particolare Perceptrons Multicapa [MLP] e macchine a supporto vettoriale [SVM], per raccomandare il ricovero dei pazienti quando la combinazione di variabili fisiologiche chiave, gli indicatori psicosociali della NOM-035 e i principi dell'ESS suggeriscono che esiste un rischio elevato per la salute.

2. Metodologia

2.1. Approccio e progettazione

È stato adottato un approccio quantitativo, esplicativo e predittivo, basato su una progettazione non sperimentale e trasversale. L'obiettivo era quello di sviluppare e convalidare i modelli di apprendimento automatico per raccomandare il ricovero in ospedale dei pazienti con elevati rischi per la salute.

Il modello formula le raccomandazioni sulla base di una classificazione binaria supervisionata relativa alle caratteristiche legate alle variabili cliniche e psicosociali, evitando ricoveri non necessari dovuti a indicatori isolati [ad esempio, pressione alta o glicemia elevata].

2.2. Set di dati originale

È stato utilizzato un set di dati denominato Dataset.csv composto da 500 e 1000 osservazioni, che è servito come base per la modellizzazione e la classificazione dello stato di ricovero ospedaliero codificato in formato binario [1 = ricoverato, 0 = non ricoverato].

Le osservazioni includono: età, sesso, indice di massa corporea [IMC]; misurazioni di pressione sistolica, pressione diastolica, colesterolo totale e glucosio; oltre a informazioni quali livello di attività fisica, consumo di tabacco, diabete e storia familiare di malattie. Questo database è stato scelto perché è rappresentativo e coerente con i fattori di rischio che la NOM-035-STPS-2018 associa allo stress lavorativo e al deterioramento della salute fisica. Si è cercato di utilizzare informazioni biomediche reali per costruire un sistema di supporto alle decisioni mediche che fosse conforme ai principi dell'ESS.

2.3. Modellizzazione logico-matematica e trasformazione delle variabili

Prima dell'addestramento dei modelli di apprendimento automatico, è stato applicato un processo di modellizzazione logico-matematica basato sulla ricerca operativa [IO] per trasformare i valori clinici originali in sei variabili derivate, che rappresentano indicatori composti di rischio clinico e psicosociale.

Lo scopo era quello di costruire variabili derivate che rappresentassero in modo più coerente le interazioni tra i fattori fisiologici e le condizioni di rischio associate al ricovero ospedaliero.

2.3.1 Classificazione e categorizzazione delle variabili

Le variabili originali nel set di dati sono state raggruppate in base alla loro natura e al tipo di misurazione, come illustrato nella Tabella 1, facilitando la codifica e la progettazione di regole logiche di combinazione. I valori soglia sono stati definiti in base ai parametri stabiliti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità [OMS]. Ad esempio, un valore di glucosio ≥ 125 mg/dL è stato codificato come 1 [rischio elevato], mentre un valore < 100 mg/dL è stato considerato normale [0].

Scatola 1

Tabella 1

Strutture di codifica utilizzate

Categoria	Esempi	Tipo	Codifica
Sociodemografiche	Età, sesso, anzianità di servizio,	Nominale	One-hot
Diagnosi medica	tipo di organizzazione	Continuo	Normalizzazione /Binarizzazione
Psicosociali [NOM-035]	Pressione arteriosa, glucosio,	Ordinale	0-1-2

2.3.2. Conversione e codifica numerica

Successivamente, le variabili categoriali sono state convertite in numeriche utilizzando un dizionario di equivalenze elaborato in Excel con le funzioni *CERCA.VERT[]* e *SE[]*, e convalidato in Python tramite *LabelEncoder* e *OneHotEncoder*. Ciò ha permesso di elaborare le variabili qualitative all'interno del modello matematico e tramite le librerie di *scikit-learn*.

2.3.3 Operatori logici e restrizioni lineari

Al fine di rappresentare le combinazioni di rischio tra le variabili fisiologiche, sono stati utilizzati operatori logici [AND, OR, XOR, NAND, NOR], espressi tramite restrizioni lineari che ne consentono l'implementazione in *Solver* di Excel, come mostrato nella Tabella 2.

Scatola 2

Tabella 2

Strutture di codifica utilizzate

Operatore	Espressione logica	Restrizioni
AND	$z = x \wedge y$	$z \leq x; z \leq y; z \geq x + y - 1$
OR	$z = x \vee y$	$z \geq x; z \geq y; z \leq x + y$
XOR	$z = x \oplus y$	$z = x + y - 2[x \cdot y]$
NAND	$\neg[x \wedge y]$	$z = 1 - [x \cdot y]$
NOR	$\neg[x \vee y]$	$z = 1 - [x + y]$

Queste operazioni sono state applicate per modellare condizioni quali, ad esempio:

- OR: rischio metabolico se il glucosio è alto o la pressione è elevata.
- AND: rischio cardiovascolare se il glucosio è alto e la pressione è elevata.
- NAND: assenza di rischio quando non coesistono condizioni critiche.

Il *Solver* di Excel, utilizzando i metodi GRG Non Lineare ed Evolutivo, ha ottimizzato le soglie dinamiche di queste combinazioni per minimizzare l'errore quadratico medio [ECM] e massimizzare l'*F1-score* tra la diagnosi reale e quella prevista.

Il risultato di questo processo è stata la generazione di sei variabili binarie derivate, che rappresentano indicatori di rischio clinico e psicosociale, formate dall'uso di soglie e combinazioni logiche tra le variabili originali, inclusa la variabile obiettivo che indica se un paziente deve essere ricoverato in ospedale o meno. Queste variabili sono: presenza di malattia, pressione alta, pressione bassa, glucosio alto, glucosio basso e necessità di ricovero ospedaliero.

La Figura 1 mostra un esempio della variabile che denota la presenza di una malattia in contrasto con le variabili del glucosio e della pressione sistolica. Ogni punto rappresenta una singola cartella clinica, classificata in base alla diagnosi medica [sano o malato]. Si osserva una moderata sovrapposizione tra le due classi, che giustifica l'uso di modelli non lineari, come l'MLP e l'SVM, in grado di definire confini decisionali complessi, come quelli utilizzati nelle fasi successive.

Scatola 3

Distribuzione del glucosio rispetto alla pressione sistolica Classificazione per malattia.

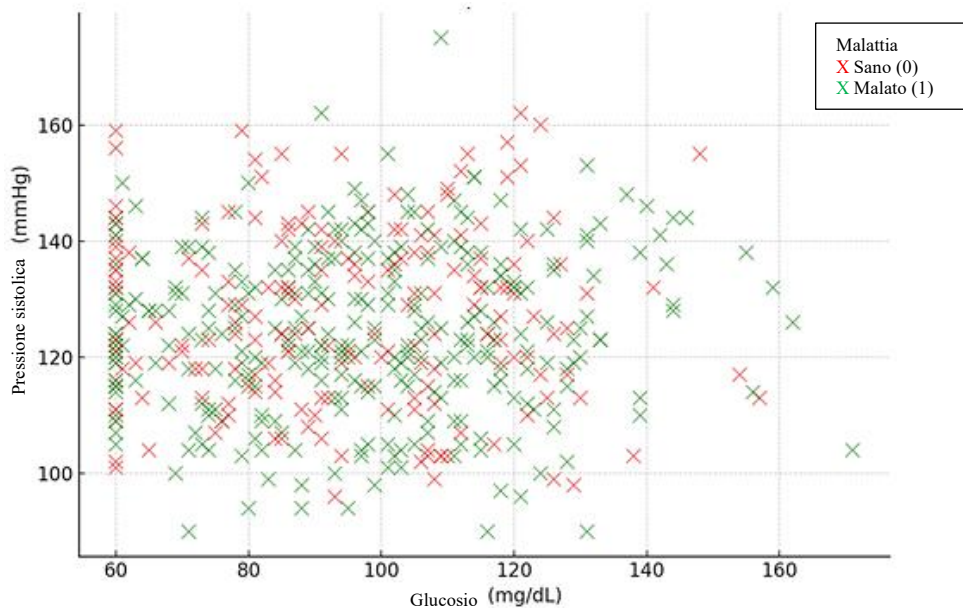


Figura 1

Distribuzione dei pazienti malati nello spazio formato dalle variabili glicemia e pressione sistolica.

Fonte: elaborazione propria

2.4. Preparazione del set di dati finale

Le sei variabili derivate sono state combinate con le informazioni originali per formare il set di dati finale. Successivamente, le variabili numeriche sono state normalizzate utilizzando *StandardScaler* di Python e la variabile sesso è stata codificata come binaria. Successivamente, il set è stato suddiviso in 70% per l'addestramento e 30% per il test, utilizzando *train_test_split* con partizione stratificata per mantenere la proporzione tra le classi. Questo set è stato utilizzato per addestrare i modelli MLP e SVM nelle stesse condizioni.

2.5. Modelli di classificazione binaria

2.5.1. Rete neurale artificiale

Il modello RNA implementato era un Perceptron Multilayer [*MLPClassifier*] con uno strato nascosto di otto neuroni e un massimo di 5000 iterazioni per la sua regolazione [[Pedregosa et al., 2011](#)]. L'addestramento è stato eseguito nell'ambiente Python utilizzando la libreria scikit-learn, applicando la convalida incrociata per garantire la coerenza dei risultati e ridurre il rischio di sovradattamento [[Zhang, J., Liu, S., & Wang, Y., 2008](#)].

Il processo di apprendimento è stato effettuato utilizzando l'algoritmo di retropropagazione dell'errore, regolando i pesi sinaptici fino a minimizzare la funzione di perdita definita sull'insieme di addestramento. Le prestazioni del modello sono state valutate utilizzando le metriche standard di classificazione: accuratezza [*accuracy*], sensibilità [*recall*], precisione positiva [*precision*] e *F1-score*, integrate con la matrice di confusione per identificare la distribuzione di successi ed errori per classe [[Musaa, F. E., & Elnoor, E. M., 2025](#)].

2.5.2. Macchine a supporto vettoriale

Oltre alla RNA, è stata utilizzata una SVM che impiega un nucleo con funzione di base radiale [RBF] [Razaque, A., Ben Haj Frej, M., Almi'ani, M., Alotaibi, M., & Alotaibi, B., 2021].

L'implementazione è stata effettuata utilizzando la classe SVC del pacchetto scikit-learn [Pedregosa et al., 2011], integrando StandardScaler nel flusso di lavoro per la normalizzazione automatica delle variabili prima dell'adattamento del modello.

Come per l'MLP, è stata applicata la validazione incrociata stratificata, assicurando che ogni piega mantenesse la proporzione originale delle classi.

Al fine di trovare la configurazione ottimale del modello, è stata effettuata una ricerca sistematica degli iperparametri, variando i valori di nell'intervallo e di in . In questo modo, è stata esplorata la combinazione completa di e , registrando le prestazioni medie in ogni punto della griglia.

3. Risultati e discussione

3.1. Comportamento del modello MLP

La Figura 2 presenta la matrice di confusione ottenuta per il modello neurale MLP.

Il risultato evidenzia una distribuzione equilibrata tra veri positivi [VP] e veri negativi [VN], con un numero ridotto di errori di classificazione [dati da FP e FN]. Questo comportamento riflette il fatto che il modello riesce a identificare correttamente la maggior parte dei pazienti che necessitano di ricovero ospedaliero, mantenendo un equilibrio tra sensibilità e specificità.

Scatola 4

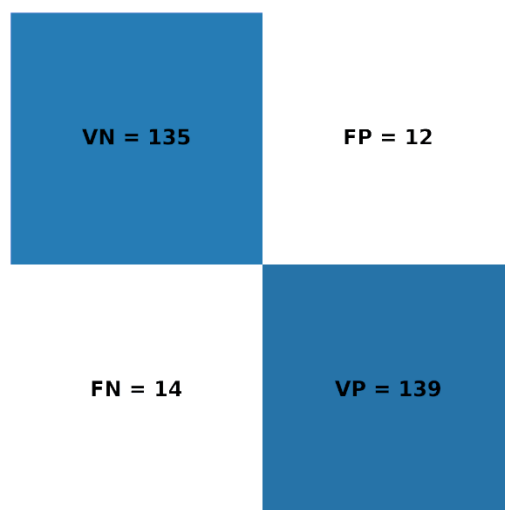


Figura 2

Matrice di confusione del modello MLP.

Fonte: elaborazione propria

Sulla base di questi valori, sono state calcolate le principali metriche di prestazione riportate nella Tabella 3. Questi risultati mostrano che l'MLP ha raggiunto un'accuratezza del 91,3%, con un equilibrio tra precisione e sensibilità, garantendo una risposta affidabile sia nell'individuazione dei pazienti ricoverati in ospedale che nella corretta identificazione di quelli non ricoverati.

Il modello ha dimostrato robustezza di fronte a lievi variazioni nei dati e capacità di cogliere relazioni non lineari tra le variabili derivate dalla modellizzazione logico-matematica. Le sue prestazioni suggeriscono che può essere applicato efficacemente in contesti in cui le cartelle cliniche includono interdipendenze o lievi livelli di rumore, come cartelle incomplete o variabili con elevata correlazione clinica.

Scatola 5

Tabella 3

Prestazioni del modello MLP.

Metrica	Valore [%]
Accuratezza	91.3
Precisione	92.0
Richiamo	90.9
Punteggio F1	91.4

La performance complessiva dell'MLP è illustrata nella Figura 3, dove sono riportate le metriche precedenti. La figura mostra un comportamento equilibrato tra le diverse misure, con valori superiori al 90%, che indicano una performance stabile e coerente nella classificazione dei pazienti.

Scatola 6

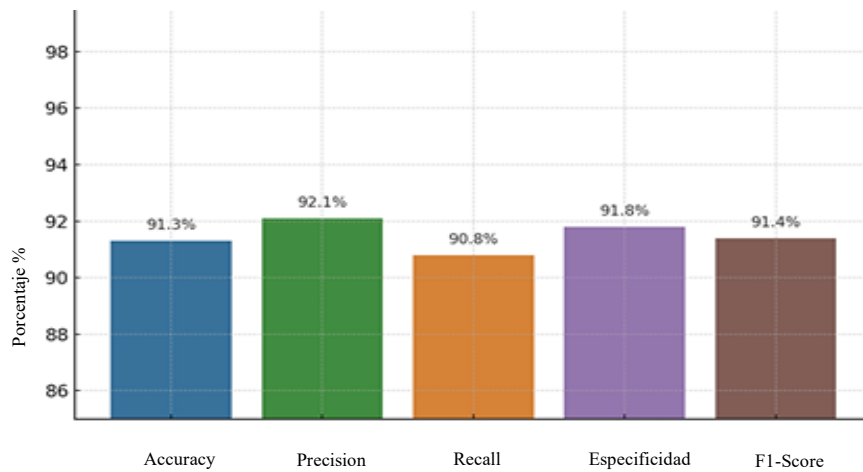


Figura 3

Andamento dell'MLP illustrato tramite un grafico a barre.

Fonte: elaborazione propria

3.2. Comportamento del modello SVM

La Figura 4 corrisponde alla matrice di confusione generata con le previsioni del modello SVM con nucleo RBF, utilizzando $C=1$. Il modello ha ottenuto una separazione perfetta tra le classi, senza errori di classificazione apparenti, il che suggerisce un adeguato adattamento degli iperparametri nelle condizioni del set di dati.

Scatola 7

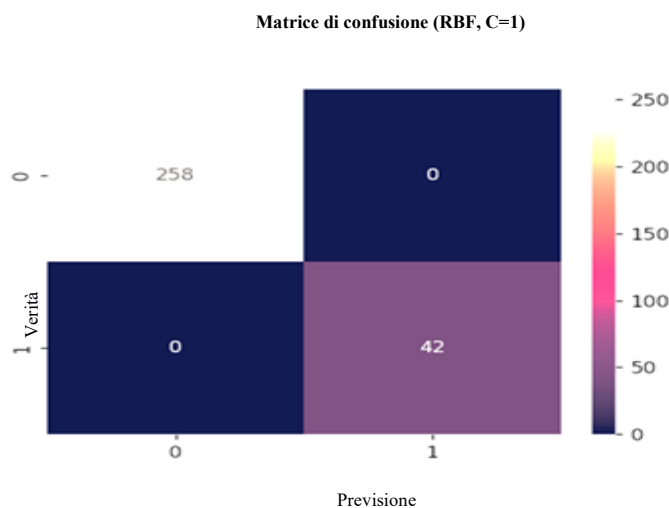


Figura 4

Matrice di confusione del modello SVM con nucleo radiale.

Fonte: elaborazione propria

Le metriche di prestazione derivate dalla Figura 2 sono riportate nella Tabella 4. Sulla base di questi valori, il modello SVM ha evidenziato un confine decisionale altamente definito, ottenendo previsioni accurate in entrambi i gruppi [ricoverati e non ricoverati]. Questa precisione è associata alla capacità del nucleo RBF di proiettare le variabili in uno spazio di maggiore dimensionalità, dove i confini tra le classi diventano linearmente separabili.

Tuttavia, il raggiungimento di una performance perfetta potrebbe essere influenzato dalla struttura e dall'equilibrio del set di dati, pertanto si raccomanda di valutare il modello in nuove partizioni o con dati esterni prima della sua applicazione in ambienti clinici reali. Ciononostante, il risultato dimostra che l'SVM-RBF costituisce uno strumento efficiente e preciso per compiti di classificazione medica in scenari con interazioni non lineari e un numero limitato di registrazioni.

Scatola 8

Tabella 4

Prestazioni del modello SVM

Metrica	Valore [%]
Accuratezza	100.0
Precisione	100.0
Richiamo	100.0
Punteggio F1	100.0

Figura 5 mostra la rappresentazione bidimensionale del confine decisionale generato dalla SVM con nucleo radiale RBF. È stata utilizzata la coppia di variabili pressione sistolica e glucosio per visualizzare il confine tra pazienti ospedalizzati e non ospedalizzati. Si osserva che il classificatore ottiene una separazione morbida e precisa tra le due regioni, catturando adeguatamente le relazioni non lineari presenti nei dati.

Scatola 9

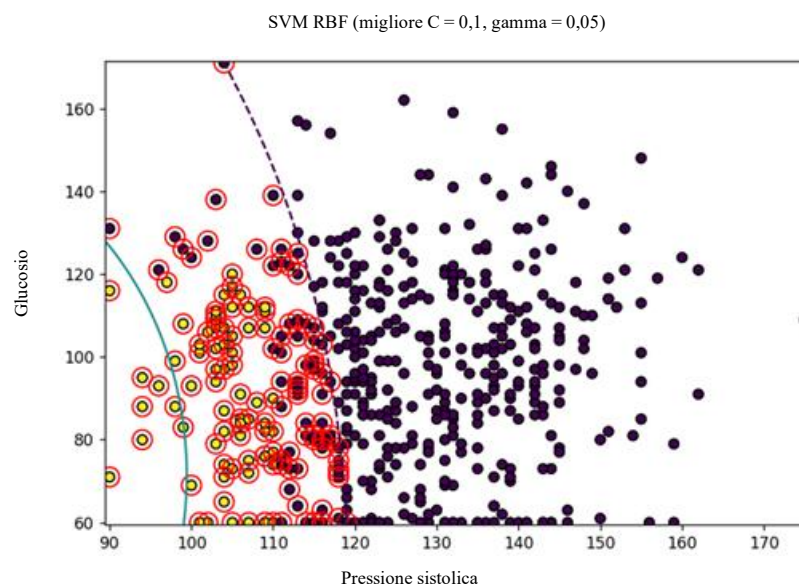


Figura 5

Confine decisionale del modello SVM con nucleo radiale [RBF] considerando le variabili glucosio e pressione sistolica.

Fonte: elaborazione propria

3.4. Considerazioni sull'uso di MLP e SVM come strumenti alternativi

Anziché stabilire un confronto diretto tra i modelli, se ne propone l'uso come strumenti alternativi e complementari all'interno dello stesso quadro di analisi predittiva. Entrambi i modelli hanno dimostrato la capacità di elaborare le variabili derivate dalla modellizzazione logico-matematica, sebbene ciascuno presenti vantaggi, limiti e considerazioni d'uso specifici, riassunti nella Tabella 5.

Scatola 10**Tabella 5**

Aspetti da tenere in considerazione sull'uso dei modelli MLP e SVM.

Aspetto	MLP	SVM
Natura del modello	Apprendimento adattivo, basato sui pesi sinaptici	Modello strutturato, basato su vettori di supporto
Tipo di relazione rilevata	Non lineare, complesso, dipendente dalla regolazione dei pesi	Lineare o non lineare, controllato dal nucleo
Vantaggi	Generalizzazione progressiva, tollerante al rumore, interpretabile in strati	Buona precisione con meno dati, evita il sovradimensionamento, efficiente in dimensioni elevate
Limiti	Richiede una regolazione fine dei parametri [numero di neuroni, tasso di apprendimento]	Sensibile alla selezione di C e γ . Può essere costoso in grandi insiemi di dati.
Applicazione suggerita	Scenari con elevata variabilità nelle registrazioni cliniche	Scenari con dati più strutturati o linearmente separabili

Pertanto, l'MLP è consigliabile in situazioni in cui le relazioni tra le variabili sono diffuse, ad esempio dati con interazione tra fattori clinici e psicosociali, mentre l'SVM è appropriato in contesti in cui è richiesta una classificazione accurata con minore complessità computazionale.

3.5. Implicazioni cliniche e computazionali

Entrambi i modelli contribuiscono alla costruzione di un sistema di supporto alle decisioni mediche orientato a raccomandare il ricovero ospedaliero in modo razionale, sulla base della combinazione di variabili cliniche e psicosociali. Questo approccio può prevenire ricoveri ospedalieri non necessari, dando priorità ai rischi reali delle persone e promuovendo un uso solidale delle risorse in base ai principi dell'ESS e della NOM-035-STPS-2018.

Dal punto di vista computazionale, il processo di addestramento e convalida può essere facilmente incorporato nei sistemi clinici digitali, in modo che il personale medico possa selezionare correttamente il modello più appropriato [MLP o SVM] in base alle caratteristiche del paziente o dell'ambiente operativo.

4. Conclusioni

Il presente articolo espone la fattibilità di implementare modelli di apprendimento automatico come strumenti per facilitare il processo decisionale medico. In questo senso, i modelli MLP e SVM sono proposti come un possibile strumento di supporto per formulare raccomandazioni sul ricovero di un paziente attraverso l'uso e l'integrazione di dati fisiologici e psicosociali.

I modelli MLP e SVM hanno raggiunto metriche superiori al 90% in termini di accuratezza, precisione e sensibilità, che hanno convalidato il loro potenziale predittivo per assistere nel processo decisionale medico e contribuire a un migliore utilizzo dell'assegnazione delle risorse ospedaliere.

Il metodo proposto incorpora gli indicatori della NOM-035-STPS-2018 per estendere l'analisi oltre i parametri clinici, considerando le dimensioni psicosociali e organizzative del rischio lavorativo. Dal punto di vista dell'EES, i risultati confermano la fattibilità di sviluppare sistemi di intelligenza artificiale o apprendimento automatico etici, riproducibili e socialmente orientati, utili per il sistema sanitario.

Infine, si propone di ampliare la banca dati e di incorporare nuove variabili psicologiche, ambientali e occupazionali che rafforzino la capacità predittiva e l'interpretabilità del modello. Queste azioni consentiranno di avanzare verso un sistema sanitario integrale e sostenibile, che colleghi l'IA al benessere umano.

Dichiarazioni**Conflitto di interessi**

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari concorrenti noti né relazioni personali che potrebbero influenzare l'articolo riportato in questo articolo.

Contributo degli autori

Lara-Escamilla, Samuel: ho fornito l'idea principale del progetto, ho contribuito concettualmente e allo sviluppo metodologico e con tecniche di ricerca per l'acquisizione dei dati, la programmazione e l'addestramento della RNA

Rodríguez-Molina, Alejandro: Ho contribuito alla ricerca concettuale nell'analisi della rete neurale del progetto con metodologia di ricerca per la progettazione, l'addestramento, la convalida del modello e la progettazione della rete neurale artificiale, e ho fornito un contributo tecnico nella redazione

Rueda-Gutiérrez, Allan Balam: Ho effettuato la valutazione delle RNA, la matrice di confusione, nonché la valutazione dei valori di progettazione.

Salazar-Cano, Nellie Cecilia: Collaboro alla redazione e alla traduzione dei documenti.

Disponibilità di dati e materiali

Tutti i dati sono disponibili sui siti web ufficiali.

Finanziamento

La ricerca non ha ricevuto alcun finanziamento.

Ringraziamenti

Indicare se sono stati finanziati da qualche istituzione, università o azienda.

Abbreviazioni

A	Accuratezza
AI	Intelligenza artificiale
ANN	Rete neurale artificiale
DL	Deep learning
FCN	Falso negativo
FN	Falso positivo
FP	Rete neurale
OSSE	Organismi del settore sociale dell'economia
P	Precisione
R	Richiamo
S	Sensibilità

Riferimenti

Fondamentali

Cisterna-García, A., Guillén-Teruel, A., Caracena, M., Pérez, E., Jiménez, F., Francisco-Verdú, F. J., ... & Botía, J. A. [2022]. [A predictive model for hospitalization and survival to COVID-19 in a retrospective population-based study](#). *Scientific Reports*, 12[1], 18126.

Supporto

Cooper, C. L., Quick, J. C., & Schabracq, M. J. [2015]. [International Handbook of Work and Health Psychology](#) [3rd ed.]. Wiley-Blackwell.

LeCun, Y., & Hinton, G. [2015]. [Deep learning](#). *Nature*, 521[7553], 436–444.

Antecedenti

Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STPS]. [2018]. [NOM-035-STPS-2018: Factores de riesgo psicosocial en el trabajo. Identificación, análisis y prevención](#). Diario Oficial de la Federación.

Supporto

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. [2016]. [Deep Learning](#). MIT Press.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., & Duchesnay, É. [2011]. [Scikit-learn: Machine learning in Python](#). *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.

World Health Organization. [2022]. [Workplace Health Promotion and Well-being](#). WHO Publications.

Zhang, J., Liu, S., & Wang, Y. [2008]. [Gene association study with SVM, MLP and cross-validation for the diagnosis of diseases](#). *Progress in Natural Science*, 18[6], 741-750

Differenze

Musaa, F. E., & Elnoor, E. M. [2025]. [A Comparative Study of Machine Learning Algorithms for Lung Cancer Diagnosis: Evaluating Performance Using ROC Curve, Accuracy, Recall, and F1 Score Metrics](#). *General Letters in Mathematics [GLM]*, 15[2].

Razaque, A., Ben Haj Frej, M., Almi'ani, M., Alotaibi, M., & Alotaibi, B. [2021]. [Improved support vector machine enabled radial basis function and linear variants for remote sensing image classification](#). *Sensors*, 21[13], 4431

Discussioni

Nwanosike, E. M., Conway, B. R., Merchant, H. A., & Hasan, S. S. [2022]. [Potential applications and performance of machine learning techniques and algorithms in clinical practice: a systematic review](#). *International journal of medical informatics*, 159, 104679.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social [STPS]. [2018]. NOM-035-STPS-2018: [Factores de riesgo psicosocial en el trabajo. Identificación, análisis y prevención](#). *Diario Oficial de la Federación*.













World Health Organization. [2022]. [Workplace Health Promotion and Well-being](#). WHO Publications.

Zhang, J., Liu, S., & Wang, Y. [2008]. [Gene association study with SVM, MLP and cross-validation for the diagnosis of diseases](#). *Progress in Natural Science*, 18[6], 741-750

Istruzioni per la pubblicazione scientifica, tecnologica e innovativa

[Titolo in TNRoman e Bold n. 14 in inglese e spagnolo]

Cognome, Nome 1° autore*a, Cognome, Nome 1° coautoreb, Cognome, Nome 2° coautorec e Cognome, Nome 3° coautore d [N. 12 TNRoman]

- a  Istituzione di affiliazione,  [Ricercatore ID](#),  [ORC ID](#), [SNI-SECIHTI ID](#) or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- b  Istituzione di affiliazione,  Ricercatore ID,  ORC ID, SNI-SECIHTI ID or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- c  Istituzione di affiliazione,  Ricercatore ID,  ORC ID, SNI-SECIHTI ID or CVU PNPC [No.10 TNRoman]
- d  Istituzione di affiliazione,  Ricercatore ID,  ORC ID, SNI-SECIHTI ID or CVU PNPC [No.10 TNRoman]

Tutti i profili ROR-Clarivate-ORCID e SECIHTI devono essere collegati tramite hyperlink al tuo sito web.

Prot -  [Università dell'Australia Meridionale](#) •  [7038-2013](#) •  [0000-0001-6442-4409](#) •  416112

Classificazione SECIHTI: <https://marvid.org/area-i.php> [N. 10 TNRoman]

Area:

Campo:

Disciplina:

Sottodisciplina:

DOI: <https://doi.org/>

Procedimenti chiave

[Spiegare i seguenti aspetti:]

- Quali sono i principali contributi alla generazione di scienza e tecnologia descritti in questa ricerca?
- Quali sono gli aspetti chiave da comprendere per applicarli alla generazione di conoscenza universale?
- Descrivi le principali conclusioni della ricerca.
- Quante citazioni hanno generato gli autori del lavoro nell'ultimo anno?
- Da quali istituzioni provengono?

Citazione: Cognome, Nome del primo autore, Cognome, Nome del primo coautore, Cognome, Nome del secondo coautore e Cognome, Nome del terzo coautore. Anno. Titolo del libro. [Pagine].PIREQA.

Indirizzo e-mail di contatto:

* [\[example@example.org\]](mailto:example@example.org)

URL dello scaffale del manuale: <https://www.pireqa.org/proceedings.php>



ISBN XXX-XX-XXXXX-XX-X/© 2009 Gli autori. Pubblicato da PIREQA-Mexico, S.C. per conto della sua Holding X per conto del Libro X. Questo è un capitolo ad accesso libero sotto licenza CC BY-NC-ND [<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>]

Revisione tra pari sotto la responsabilità del Comitato Scientifico MARVID® - in contributo al processo di revisione tra pari in ambito scientifico, tecnologico e dell'innovazione attraverso la formazione delle risorse umane per la continuità nell'analisi critica della ricerca internazionale.



PIREQA ® Tutti i diritti riservati Messico – Germania – Sahara occidentale – Repubblica Ceca – Cina – Francia – Giappone – Stati Uniti – Federazione Russa – Italia – Portogallo

Istruzioni per la pubblicazione scientifica, tecnologica e innovativa

Abstract [in inglese]

Deve contenere fino a 150 parole

Abstract grafico [in inglese]

Your title goes here		
Objectives	Methodology	Contribution

Gli autori devono fornire un'immagine originale che rappresenti chiaramente il lavoro descritto nel capitolo. Gli abstract grafici devono essere inviati in un file separato. Si prega di notare che, così come ogni articolo, anche gli abstract devono essere unici. Tipo di file: i tipi di file sono file MS Office. Non devono essere inclusi testi aggiuntivi, schemi o sinossi. Qualsiasi testo o didascalia deve essere parte del file immagine. Non utilizzare spazi bianchi inutili o un'intestazione "abstract grafico" all'interno del file immagine.

Parole chiave [in inglese]

Indicare 3 parole chiave in TNRoman e Bold n. 12

Abstract [in spagnolo].

Deve contenere fino a 150 parole

Abstract grafico [in spagnolo]

Your title goes here		
Objectives	Methodology	Contribution

Gli autori devono fornire un'immagine originale che rappresenti chiaramente il lavoro descritto nel libro. Gli abstract grafici devono essere inviati in un file separato. Si prega di notare che, così come ogni articolo deve essere unico. Tipo di file: i tipi di file sono file MS Office. Non devono essere inclusi testi aggiuntivi, schemi o sinossi. Qualsiasi testo o didascalia deve essere parte del file immagine. Non utilizzare spazi bianchi non necessari o un'intestazione "abstract grafico" all'interno del file immagine.

Parole chiave [in spagnolo]

Indicare 3 parole chiave in TNRoman e Bold n. 12.

Istruzioni per la pubblicazione scientifica, tecnologica e innovativa

Introduzione

Testo in TNRoman n. 12, interlinea singola.

Spiegazione generale dell'argomento e perché è importante.

Qual è il tuo valore aggiunto rispetto ad altre tecniche?

Metti chiaramente in evidenza ciascuna delle sue caratteristiche.

Spiega chiaramente il problema da risolvere e l'ipotesi centrale.

Spiegazione delle sezioni del capitolo.

Sviluppo dei titoli e dei sottotitoli del capitolo con numeri successivi.

Prodotti in fase di sviluppo n. 12 TNRoman, interlinea singola.

Inclusi grafici e tabelle modificabili.

Nel contenuto del capitolo qualsiasi figura e tabella deve essere in formati modificabili che possano cambiare dimensione, tipo e numero di lettere, ai fini dell'edizione, queste devono essere di alta qualità, non pixelate e devono essere visibili anche riducendo la scala dell'immagine.

[Indicando il titolo in alto con n. 12 e TNRoman Bold]

Scatola

Tabella 1

Titolo [Non devono essere immagini: tutto deve essere modificabile]

Fonte

[in corsivo]

Scatola

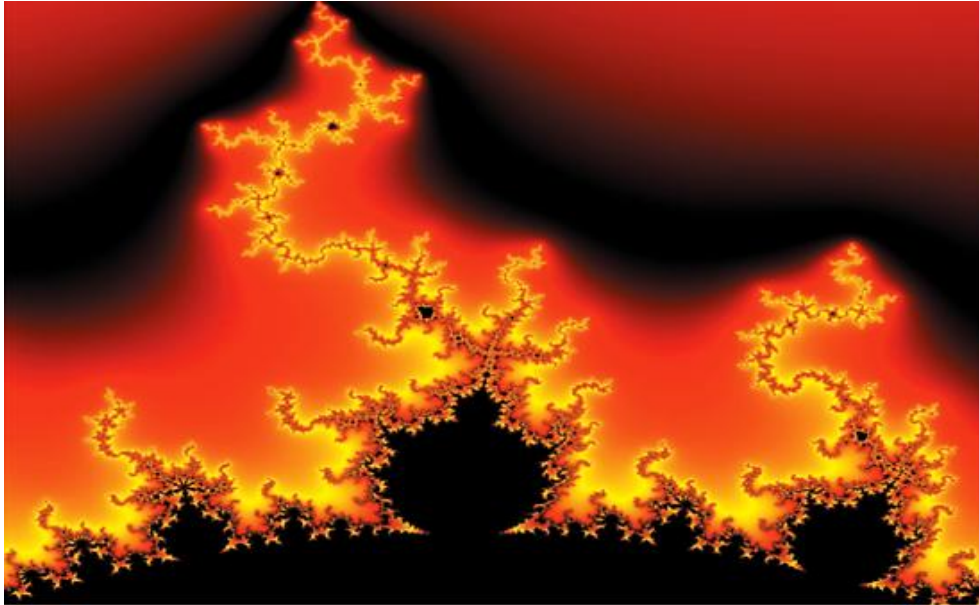


Figura 1

Titolo [Non devono essere immagini: tutto deve essere modificabile]

*Fonte
[in corsivo]*

Il numero massimo di caselle è 10.

Per l'uso delle equazioni, si noti quanto segue:

$$\int_{lim^{-1}}^{lim^1} = \int \frac{lim^1}{lim^{-1}} = \left[\frac{1[-1]}{lim} \right]^2 = \frac{[0]^2}{lim} = \sqrt{lim} = 0 = 0 \rightarrow \infty \quad [1]$$

Deve essere modificabile e con i numeri allineati sul lato destro.

Metodologia

Sviluppare il significato delle variabili in scrittura lineare; è importante il confronto dei criteri utilizzati.

Risultati

I risultati devono essere riportati per sezione del capitolo.

Conclusioni

Spiegare chiaramente i risultati e le possibilità di miglioramento.

Allegati

Tabelle e fonti adeguate.

Lo standard internazionale è di minimo 7 pagine e massimo 14 pagine.

Dichiarazioni

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interessi. Non hanno interessi finanziari concorrenti noti né relazioni personali che potrebbero aver influenzato questo capitolo.

Istruzioni per la pubblicazione scientifica, tecnologica e innovativa

Contributo degli autori

Specificare il contributo di ciascun ricercatore in ciascuno dei punti sviluppati in questa ricerca.

Prot-

Benoit-Pauleter, Gerard: ha contribuito all'idea del progetto, al metodo e alla tecnica di ricerca.

Disponibilità di dati e materiali

Indicare la disponibilità dei dati ottenuti in questa ricerca.

Finanziamenti

Indicare se la ricerca ha ricevuto finanziamenti.

Ringraziamenti

Indicare se sono stati finanziati da qualche istituzione, università o azienda.

Abbreviazioni

Elencare le abbreviazioni in ordine alfabetico.

ANN Rete neurale artificiale

Riferimenti

Utilizzare il sistema APA. Non devono essere numerati né contrassegnati da punti elenco, tuttavia, se necessario, la numerazione sarà dovuta al fatto che il riferimento o la menzione sono presenti in qualche punto del capitolo.

Utilizza l'alfabeto romano, tutti i riferimenti utilizzati devono essere in alfabeto romano, anche se hai citato un capitolo o un libro in una delle lingue ufficiali delle Nazioni Unite [inglese, francese, tedesco, cinese, russo, portoghese, italiano, spagnolo, arabo], devi scrivere il riferimento in alfabeto romano e non in una delle lingue ufficiali.

Le citazioni sono classificate nelle seguenti categorie:

Antecedenti. La citazione è dovuta a ricerche pubblicate in precedenza e orienta il documento che la riporta all'interno di una particolare area accademica.

Nozioni di base. La citazione ha lo scopo di riportare insieme di dati, metodi, concetti e idee su cui gli autori del documento che la riporta basano il proprio lavoro.

Supporti. L'articolo che riporta la citazione riporta risultati simili. Può anche riferirsi a somiglianze nella metodologia o, in alcuni casi, alla riproduzione dei risultati.

Differenze. Il documento citante riporta tramite una citazione di aver ottenuto risultati diversi da quelli ottenuti nel documento citato. Ciò può anche riferirsi a differenze nella metodologia o differenze nelle dimensioni del campione che influenzano i risultati.

Discussioni. L'articolo citante cita un altro studio perché fornisce una discussione più dettagliata dell'argomento.

L'URL della risorsa è attivato nel DOI o nel titolo della risorsa.

Mandelbrot, B. B. [2020]. Dimensioni negative e Hölders, multifrattali e loro spettri di Hölder, e il ruolo della preasintotica laterale nella scienza. *Journal of Fourier Analysis and Applications Special*. 409-432.

Istruzioni per la pubblicazione scientifica, tecnologica e innovativa

Requisiti di proprietà intellettuale per la modifica:

- - Firma autentica a colori del modulo di originalità dell'autore e dei coautori.
-
- - Firma autentica a colori del modulo di accettazione dell'autore e dei coautori.
-
- - Firma autentica in blu del modulo di conflitto di interessi dell'autore e dei coautori.

Riserva alla politica editoriale

PIREQA Proceedings si riserva il diritto di apportare le modifiche editoriali necessarie per rendere il lavoro scientifico conforme alla politica editoriale di PIREQA Proceedings. Una volta che il lavoro scientifico è stato accettato nella sua versione definitiva, PIREQA Proceedings invierà all'autore le bozze per la revisione. PIREQA® accetterà solo la correzione di errata corrige ed errori o omissioni derivanti dal processo di editing della rivista, riservandosi integralmente i diritti di paternità e diffusione dei contenuti. Non saranno accettate cancellazioni, sostituzioni o aggiunte che alterino la struttura del lavoro scientifico.

Codice etico - Buone pratiche e dichiarazione di risoluzione dei conflitti editoriali

Dichiarazione di originalità e carattere inedito del lavoro scientifico, di paternità, sull'ottenimento dei dati e l'interpretazione dei risultati, ringraziamenti, conflitto di interessi, cessione dei diritti e distribuzione.

La direzione di PIREQA-Mexico, S.C. richiede agli autori del lavoro scientifico che il suo contenuto sia originale, inedito e di carattere scientifico, tecnologico e innovativo per poterlo sottoporre a valutazione.

Gli autori che firmano il lavoro scientifico devono essere gli stessi che hanno contribuito alla sua ideazione, realizzazione e sviluppo, nonché all'ottenimento dei dati, all'interpretazione dei risultati, alla sua stesura e revisione. L'autore corrispondente del lavoro scientifico proposto deve compilare il seguente modulo.

Titolo del lavoro scientifico:

- La presentazione di un articolo scientifico agli atti PIREQA implica l'impegno dell'autore a non sottoporlo contemporaneamente all'esame di altre pubblicazioni periodiche. A tal fine, l'autore deve compilare il Modulo di originalità per il proprio articolo scientifico; se il modulo non viene accettato dal Comitato di revisione, l'articolo potrà essere ritirato.
- Nessuno dei dati presentati in questo lavoro scientifico è stato plagiato o inventato. I dati originali sono chiaramente distinguibili da quelli già pubblicati. Siamo a conoscenza del test PLAGSCAN e, se viene rilevato un livello di plagio positivo, non procederemo alla revisione.
- Sono citati i riferimenti su cui si basano le informazioni contenute nel lavoro scientifico, così come le teorie e i dati di altri lavori scientifici precedentemente pubblicati.
- Gli autori firmano il modulo di autorizzazione affinché il loro lavoro scientifico sia divulgato con i mezzi che PIREQA-Mexico, S.C. nella sua Holding Mexico ritiene pertinenti per la divulgazione e la diffusione del loro lavoro scientifico, cedendo i diritti sul loro lavoro scientifico.
- È stato ottenuto il consenso da coloro che hanno fornito dati inediti ottenuti tramite comunicazione verbale o scritta, e tale comunicazione e paternità sono adeguatamente identificate.
- L'autore e i coautori che hanno firmato questo lavoro hanno partecipato alla sua pianificazione, progettazione ed esecuzione, nonché all'interpretazione dei risultati. Allo stesso modo, hanno rivisto criticamente il lavoro, ne hanno approvato la versione finale e concordano con la sua pubblicazione.
- Nessuna firma responsabile del lavoro è stata omessa e i criteri per la paternità scientifica sono stati soddisfatti.
- I risultati di questo lavoro scientifico sono stati interpretati in modo obiettivo. Eventuali risultati contrari alle opinioni dei firmatari sono riportati e discussi nel lavoro scientifico.

Riserva alla politica editoriale

PIREQA Proceedings si riserva il diritto di apportare le modifiche editoriali necessarie per adeguare l'Opera Scientifica alla Politica Editoriale di PIREQA Proceedings. Una volta accettata l'Opera Scientifica nella sua versione definitiva, PIREQA Proceedings invierà all'autore le bozze per la revisione. PIREQA® accetterà solo la correzione di errori tipografici, errori o omissioni derivanti dal processo di editing della rivista, riservandosi integralmente i diritti d'autore e di diffusione dei contenuti. Non saranno accettate cancellazioni, sostituzioni o aggiunte che alterino la struttura dell'Opera Scientifica.

Codice etico - Buone pratiche e dichiarazione di risoluzione dei conflitti editoriali

Dichiarazione di originalità e carattere inedito dell'opera scientifica, di paternità, sull'ottenimento dei dati e l'interpretazione dei risultati, ringraziamenti, conflitto di interessi, cessione dei diritti e distribuzione.

La Direzione di PIREQA-México, S.C. rivendica agli autori dell'opera scientifica che il suo contenuto deve essere originale, inedito e di carattere scientifico, tecnologico e innovativo per poter essere sottoposto a valutazione.

Gli autori firmatari dell'opera scientifica devono essere gli stessi che hanno contribuito alla sua ideazione, realizzazione e sviluppo, nonché all'ottenimento dei dati, all'interpretazione dei risultati, alla sua redazione e revisione. L'autore corrispondente dell'opera scientifica proposta dovrà compilare il modulo che segue.

Titolo dell'opera scientifica:

- L'invio di un'opera scientifica a PIREQA Proceedings comporta l'impegno da parte dell'autore a non sottoporla contemporaneamente all'esame di altre pubblicazioni periodiche; a tal fine dovrà compilare il Modulo di originalità per la sua opera scientifica, salvo che non venga respinto dal Comitato di arbitrato, potrà essere ritirato.
- Nessuno dei dati presentati in questo lavoro scientifico è stato plagiato o inventato. I dati originali si distinguono chiaramente da quelli già pubblicati. Si è a conoscenza del test PLAGSCAN e, se viene rilevato un livello di plagio positivo, non si procederà all'arbitrato.
- Vengono citati i riferimenti su cui si basa l'informazione contenuta nell'Opera Scientifica, così come le teorie e i dati provenienti da altre Opere Scientifiche precedentemente pubblicate.
- Gli autori firmano il Modulo di autorizzazione affinché la loro opera scientifica sia diffusa attraverso i mezzi che PIREQA-México, S.C. nella sua Holding México ritiene pertinenti per la divulgazione e la diffusione della loro opera scientifica, cedendo i loro diritti sull'opera scientifica.
- È stato ottenuto il consenso di coloro che hanno fornito dati non pubblicati ottenuti tramite comunicazione verbale o scritta, e tale comunicazione e paternità sono adeguatamente identificate.
- L'autore e i coautori che firmano questo lavoro hanno partecipato alla sua pianificazione, progettazione ed esecuzione, nonché all'interpretazione dei risultati. Inoltre, hanno rivisto criticamente il lavoro, ne hanno approvato la versione finale e sono d'accordo con la sua pubblicazione.
- Non è stata omessa alcuna firma responsabile del lavoro e sono soddisfatti i criteri di paternità scientifica.
- I risultati di questo lavoro scientifico sono stati interpretati in modo obiettivo. Qualsiasi risultato contrario al punto di vista dei firmatari è esposto e discusso nel lavoro scientifico.

Copyright e accesso

La pubblicazione di questo lavoro scientifico comporta la cessione del copyright a PIREQA-Mexico, S.C nella sua Holding Mexico per i suoi PIREQA Proceedings, che si riserva il diritto di distribuire sul web la versione pubblicata dell'opera scientifica e la messa a disposizione dell'opera scientifica in questo formato comporta per i suoi autori il rispetto di quanto stabilito dalla Legge sulla Scienza e la Tecnologia degli Stati Uniti Messicani, in relazione all'obbligo di consentire l'accesso ai risultati delle ricerche scientifiche.

Titolo dell'opera scientifica:

Nome e cognome dell'autore di riferimento e dei coautori	Firma
1.	
2.	
3.	
4.	

Principi etici e dichiarazione sulla risoluzione dei conflitti editoriali

Responsabilità dell'editore

L'Editore si impegna a garantire la riservatezza del processo di valutazione, non potrà rivelare agli Arbitri l'identità degli Autori, né potrà rivelare l'identità degli Arbitri in nessun momento.

L'Editore si assume la responsabilità di informare debitamente l'Autore della fase del processo editoriale in cui si trova il testo inviato, nonché delle risoluzioni dell'arbitrato in doppio cieco.

L'Editore deve valutare i manoscritti e il loro contenuto intellettuale senza distinzioni di razza, sesso, orientamento sessuale, credo religioso, origine etnica, nazionalità o filosofia politica degli Autori.

L'Editore e il suo team editoriale di PIREQA® Holdings non divulgheranno alcuna informazione sull'Opera Scientifica inviata a persone diverse dall'Autore corrispondente.

L'Editore deve prendere decisioni eque e imparziali e garantire un processo di arbitrato tra pari equo.
Responsabilità del Comitato Editoriale

La descrizione dei processi di revisione tra pari viene resa nota dal Comitato editoriale affinché gli autori conoscano i criteri di valutazione e sia sempre disposto a giustificare qualsiasi controversia nel processo di valutazione. In caso di rilevamento di plagio nell'opera scientifica, il Comitato notifica agli autori la violazione del diritto d'autore scientifico, tecnologico e di innovazione.

Responsabilità del Comitato Arbitrale

Gli arbitri si impegnano a segnalare qualsiasi comportamento non etico da parte degli autori e a indicare tutte le informazioni che potrebbero costituire motivo di rifiuto della pubblicazione dell'opera scientifica. Inoltre, devono impegnarsi a mantenere riservate le informazioni relative all'opera scientifica che valutano.

Qualsiasi manoscritto ricevuto per l'arbitrato deve essere trattato come documento riservato e non deve essere mostrato o discusso con altri esperti, salvo autorizzazione dell'editore.

Gli arbitri devono comportarsi in modo obiettivo; qualsiasi critica personale all'autore è inappropriata.

Gli arbitri devono esprimere le loro opinioni con chiarezza e con argomenti validi che contribuiscano all'attività scientifica, tecnologica e di innovazione dell'autore.

Gli arbitri non devono valutare i manoscritti in cui hanno conflitti di interesse e che sono stati segnalati all'editore prima di sottoporre l'opera scientifica alla valutazione.

Responsabilità degli autori

Gli autori devono garantire che le loro opere scientifiche siano il risultato del loro lavoro originale e che i dati siano stati ottenuti in modo etico.

Gli autori devono garantire che non siano stati precedentemente pubblicati o che non siano in fase di valutazione per un'altra pubblicazione periodica.

Gli autori devono seguire rigorosamente le norme per la pubblicazione di opere scientifiche definite dal comitato editoriale.

Gli autori devono considerare che il plagio in tutte le sue forme costituisce una condotta editoriale non etica ed è inaccettabile, di conseguenza, qualsiasi manoscritto che incorra in plagio sarà eliminato e non preso in considerazione per la pubblicazione.

Gli autori devono citare le pubblicazioni che hanno influenzato la natura dell'opera scientifica sottoposta ad arbitrato.

Servizi di informazione

Indicizzazione - Banche dati e archivi

V|LEX [Piattaforma globale di intelligence legale]

RESEARCH GATE [Germania]

MENDELEY [Gestore di riferimenti bibliografici]

GOOGLE SCHOLAR [Indici di citazioni - Google]

REDIB [Rete iberoamericana di innovazione e conoscenza scientifica - CSIC]

EBSCO [Database di ricerca - EBSCO Industries]

Servizi editoriali

Identificazione delle citazioni e indice H

Gestione del formato di originalità e autorizzazione

Test dei procedimenti con PLAGSCAN

Valutazione dell'opera scientifica

Rilascio del certificato di arbitrato

Edizione dell'opera scientifica

Impaginazione web

Indicizzazione e archivio

Pubblicazione di opere scientifiche

Certificato di opera scientifica

Fatturazione per il servizio di edizione

Politica editoriale e amministrazione

Capital Park San Angel - Venue. 1225, Revolución Avenue, Los Alpes, Álvaro Obregón, CP-01010-Mexico City. Tel: +52 1 55 6159 2296, +52 1 55 1260 0355, +52 1 55 6034 9181; E-mail: contact@pireqa.org, www.pireqa.org

PIREQA®

Caporedattore

Vargas-Delgado, Oscar. PhD

Direttore esecutivo

Trejo-Ramos, Diego. BsC

Direttore editoriale

Peralta-Castro, Enrique. MsC

Web designer

Escamilla-Bouchan, Imelda. PhD

Programmatore web

Luna-Soto, Vladimir. PhD

Assistente editoriale

Rosales-Borbor, Eleana. BsC

Filologo

Ramos-Arancibia, Alejandra. BsC

Pubblicità e sponsorizzazione

[PIREQA®- Messico- Germania-Sahara occidentale-Repubblica Ceca-Cina-Francia-Giappone-USA-Federazione Russa-Italia-Portogallo], sponsorships@pireqa.org

Licenze del sito

03-2010-032610094200-01-Per materiale stampato, 03-2010-031613323600-01-Per materiale elettronico, 03-2010-032610105200-01 -Per materiale fotografico, 03-2010-032610115700-14-Per la compilazione di dati, 04 -2010-031613323600-01-Per il sito web, 19502-Per l'indicizzazione iberoamericana e caraibica, 20-281 HB9 -Per l'indicizzazione in America Latina nelle scienze sociali e umanistiche, 671-Per l'indicizzazione nelle riviste scientifiche elettroniche in Spagna e America Latina, 7045008-Per la sua divulgazione e pubblicazione presso il Ministero dell'Istruzione e della Cultura-Spagna, 25409 -Per il suo archivio nella Biblioteca Universitaria-Madrid, 16258-Per la sua indicizzazione in Dialnet, 20589-Per l'indicizzazione nella Directory nei paesi dell'America Latina e dei Caraibi, 15048-Per la registrazione internazionale di Congressi e Colloqui. financingprograms@pireqa.org

Uffici di gestione

Capital Park San Angel - Venue. 1225, Revolución Avenue, Los Alpes, Álvaro Obregón, CP-01010-Mexico City

