**ABSTRACT**

La crescente necessità di energia ci porta ancora a dipendere principalmente dalle fonti fossili, ma ciò ha causato un’attuale emergenza ecologia. Per affrontare questo problema, è necessario passare da un’economia lineare, basata sulla quantità e sul profitto, a un’economia circolare che miri a migliorare l’utilizzo delle risorse e considerare i rifiuti come una potenziale risorsa. Questo approccio promuove il riciclo, il riuso delle materie e la transizione verso i prodotti bio-based. Malgrado gli sforzi per sostituire i materiali fossili con quelli naturali, come la nanocellulosa (CNF), è importante considerare anche le sfide associate all’utilizzo di tali materiali. Ad esempio, la CNF presenta una bassa resistenza alla fiamma e instabilità meccanica. Nonostante ciò, la CNFè attraente per l’elevata resistenza meccanica, rapporto di forma e la biodegradabilità. Le sue caratteristiche chimico-fisiche, come la carica superficiale e la possibilità di essere modificata chimicamente, la rendono adatta per la produzione di materiali porosi a bassa densità (aerogel) e come componente di complessi polielettrolitici per il rivestimento di substrati polimerici.

L’obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di utilizzare la CNF come costituente di un aerogel con proprietà di ritardo alla fiamma e come parte integrante di un rivestimento ritardato alla fiamma per schiume di poliuretano (PU), sfruttando i principi che governano la formazione dei complessi polielettrolitici (PECs). Nel presente lavoro è stato utilizzato l’acido desossiribonucleico (DNA) come polielettrolita per la preparazione di aerogel a base CNF. Il DNA svolge un duplice ruolo: legante tra le fibrille di cellulosa per migliorare le proprietà meccaniche e ritardante di fiamma grazie alle sue caratteristiche intumescenti (all in one). Gli aerogel sono stati preparati a partire dalla complessazione dei componenti in fase acquosa mediante due metodi differenti il primo dei quali è a freddo, il secondo è a caldo al fine di favorire la denaturazione reversibile del DNA e la formazione di un numero maggiore di complessi. Gli aerogel con le migliori proprietà sono quelli con soluzioni contenente CNF all’80%wt e DNA al 20%wt, sia prodotti a caldo che a freddo. Infatti, mostrano un picco del rilascio del calore durante la combustione (pkHRR) rispettivamente di 64,9 e 59,3 kW/m2, corrispondendo ad una riduzione del 17,3% e 24,5% rispetto al pkHRR della cellulosa di riferimento. Nella seconda parte di questo studio, la CNF è stata utilizzata come componente di un sistema CNF/clay/fitato di sodio per conferire proprietà di ritardo alla fiamma alle schiume di PU tramite la tecnica Layer by Layer. I campioni preparati sono stati sottoposti a due diversi metodi di asciugature: in stufa e tramite liofilizzazione. La scelta della CNF, della clay e del fitato sodico tengono conto del fatto che la CNF ha la propensione a formare char; le clays hanno un’elevata stabilità termica e possono agire come barriera al flusso di calore; il fitato sodico è un ritardante alla fiamma naturale con proprietà intumescenti. Da uno studio preliminare si è evidenziato che il sistema CNF/sepiolite/fitato di sodio è in grado di garantire l’autoestinguenza della schiuma trattata a seguito dell’applicazione diretta della fiamma. Inoltre, la presenza del coating liofilizzato ha permesso di migliorare le proprietà di isolamento termico della schiuma. Infatti, la conducibilità termica è inferiore all’8% rispetto alla schiuma non trattata.

**Abstract (in inglese)**

The growing need for energy still leads us to rely primarily on fossil fuels, but this has caused an ongoing ecological emergency. To face this problem, it is necessary to switch from a linear economy based on quantity and profit to a circular economy that aims to improve resource utilization and consider waste as a potential resource. This approach promotes recycling, reuse of materials, and a transition to bio-based products. Despite efforts to replace fossil materials with natural ones, such as nanocellulose (CNF), it is important to consider the challenges associated with the use of such materials. For instance, CNF has low flame resistance and mechanical instability. However, CNF is appealing due to its high mechanical strength, aspect ratio, and biodegradability. Its chemical and physical characteristics, such as surface charge and the possibility of chemical modification, make it suitable for producing low-density porous materials (aerogels) and as a component of polyelectrolyte complexes for coating polymeric substrates. The aim of this thesis work is to use CNF as a constituent of a flame-retardant aerogel and as an integral part of a flame-retardant coating for polyurethane (PU) foams, leveraging the principles governing the formation of polyelectrolyte complexes (PECs). In this study, deoxyribonucleic acid (DNA) was used as the polyelectrolyte for the preparation of CNF-based aerogels. DNA plays a dual role: binding between cellulose fibrils to improve mechanical properties and flame retardancy due to its intumescent characteristics (all in one). The aerogels were prepared by complexing the components in an aqueous phase using two different methods: one at cold temperature and the other at hot temperature to promote reversible denaturation of DNA and the formation of a larger number of complexes. The aerogels with the best properties were those produced with solutions containing 80% wt CNF and 20% wt DNA, both in the hot and cold methods. In fact, they showed a peak heat release rate (pkHRR) during combustion of 64.9 and 59.3 kW/m2, corresponding to a reduction of 17.3% and 24.5% compared to the pkHRR of the reference cellulose, respectively. In the second part of this study, CNF was used as a component of a CNF/clay/sodium phytate system to impart flame retardancy properties to PU foams using the Layer by Layer technique. The prepared samples were submitted to two different drying methods: oven drying and freeze-drying. The choice of CNF, clay, and sodium phytate takes into account that CNF has a propensity to form char; clays have high thermal stability and can act as a barrier to heat flow; sodium phytate is a natural flame retardant with intumescent properties. A preliminary study highlighted that the CNF/sepiolite/sodium phytate system is capable of ensuring self-extinguishing of the treated foam upon direct flame application. Furthermore, the presence of the freeze-dried coating improved the thermal insulation properties of the foam. In fact, the thermal conductivity is lower by less than 8% compared to the untreated foam.